This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

33.67.5

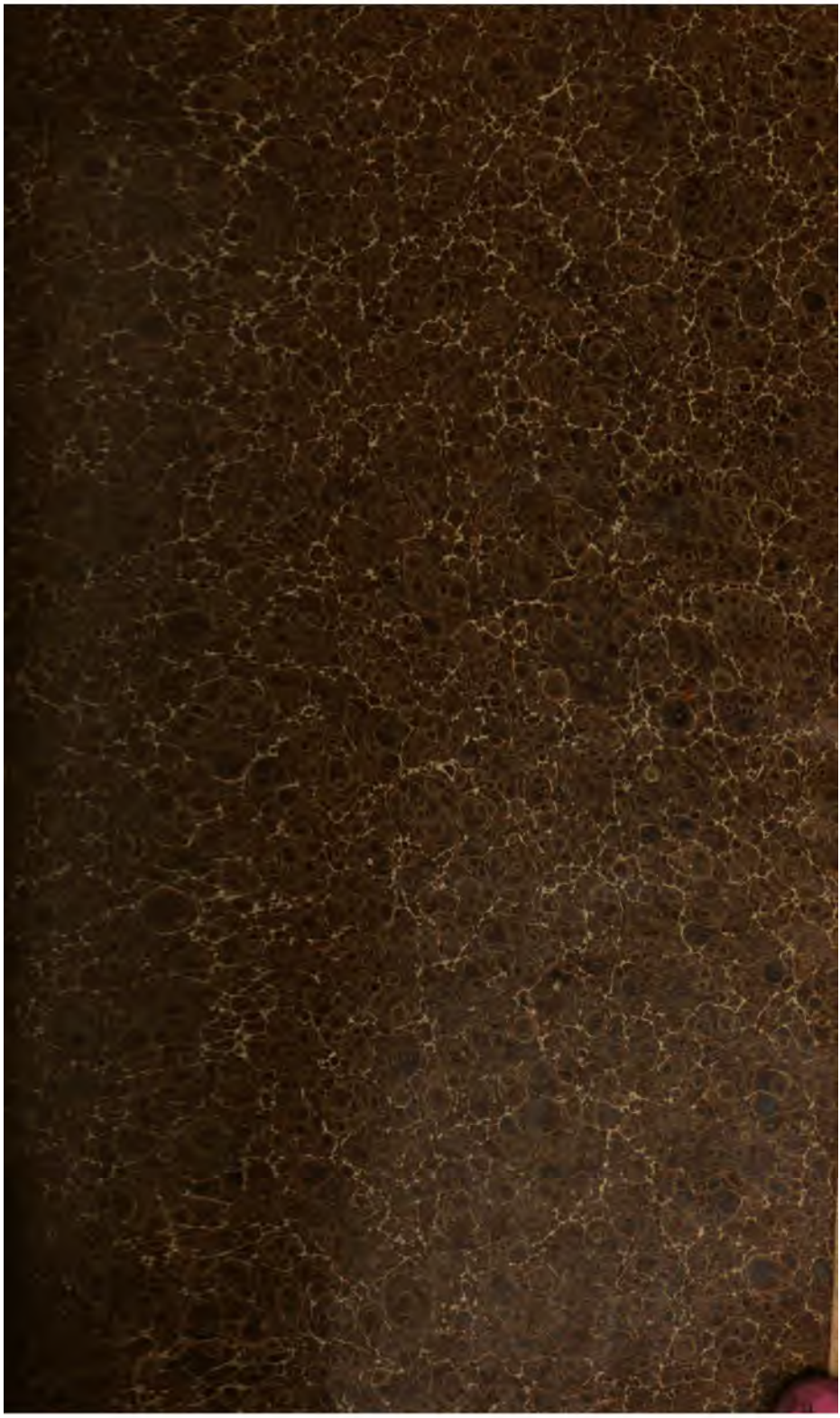
Chem 928.34

2 vol $ 10.72

BOUGHT WITH
THE GIFT OF
WILLIAM GRAY,
Of Boston, Mass.
(Class of 1829.)

Received 28 May, 1860.

SCIENCE CENTER LIBRARY



TRAITÉ
DES ESSAIS
PAR LA VOIE SÈCHE.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
rue du Jardinet, n° 12.

TRAITÉ

DES ESSAIS

PAR LA VOIE SÈCHE;

OU

DES PROPRIÉTÉS, DE LA COMPOSITION ET DE L'ESSAI

DES SUBSTANCES MÉTALLIQUES ET DES COMBUSTIBLES.

A L'USAGE DES INGÉNIEURS DES MINES, DES EXPLOITANS ET DES DIRECTEURS D'USINES.

PAR M. P. BERTHIER.

TOME PREMIER.

PARIS,

THOMINE, LIBRAIRE,

RUE DE LA HARPE, N° 88.

1834

Chem 928.34

1860. May 28
Library Fund.
2 vols
$45.+ ⅛ + binding $3. = $10.72

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME.

Pages.

INTRODUCTION. 1

Définition. — Division, *voie sèche, voie humide, voie mixte*, 2. — Avantage de la *voie sèche*, dosage exact, séparation des matières terreuses, dosage facile, expulsion des substances gazeuses, données métallurgiques, expériences métallurgiques, 2. — But de l'ouvrage, sujets accessoires, 4. — Division de l'ouvrage : chap. 1er, opérations; chap. 2, fourneaux; chap. 3, chalumeaux et tubes; chap. 4, combustibles; chap. 5, réactifs; chap. 6, généralités sur les métaux; chapitres 7 à 29, étude de chaque métal en particulier, 5. — Avertissemens, 7.

CHAPITRE Ier. — *Description générale des opérations que nécessitent les essais par la* voie sèche. . . 9

SECTION Ire. — Opérations mécaniques. 9

ART. Ier. — Cassage, marteaux, tas d'acier, feuilles de tôle. . . 9

ART. II. — Pilage ou pulvérisation. 10

Mortiers, de porcelaine, d'agate, d'acier, 10. — Opération, poudre grossière, poudre fine, spatules, mélange de quarz, 11. — Mortiers couverts, 12. — Purification, barreau aimanté, acides, 12.

ART. III. — Tamisage. 13

Tamis et *crible*, crin, soie, toiles métalliques, 13. — Opération, poudre fine, poudre grossière, pulvérisation partielle, 13. — Tamis emboîtés, 13.

ART. IV. — Triage. 14

Opération, 14. — Instrumens, bruxelles, barreau aimanté, 15. — Pilage et tamisage, lavage, 15.

ART V. — Lavage. 15

§ Ier. *Lévigation*. 16

Quand elle est possible, opération, purification, théorie, poussières ténues, 16.

Pages.

§ 2. *Lavage à l'augette*. 18

Opérations préliminaires, débombage, tamisage, précaution essentielle, 18. — Théorie, 19. — Opération, courant d'eau, tonne à robinet, terrines, délayage, lavage, précautions, produits accessoires, gros grains, 19. — Lavage après griflage, 22.

ART. VI. — Porphyrisation. 23

But, 23. — Instrumens, mortiers, porphyres, 23. — Opération, addition d'eau, masse à employer, pesée du mortier, 23. — Nettoyage des mortiers, sable, acides, 24.

SECT. II. — Opérations chimiques. 24

ART. Ier. — Calcination. 24

Définition, 24. — Creusets, couvercle, spatule, doubles creusets, creusets brasqués, 26. — Fourneaux, 27.

ART. II. — Grillage. 27

Définition, objet, 27. — Opération, instrumens, précautions, température, 28. — Addition de charbon, pour les arséniures, pour les sulfures, 30. — Vases, têts à rôtir, têts vernissés, capsules de porcelaine, capsules de platine, 32.

ART. III. — Réduction. 33

Définition, 33. — Opération, 34. — Réduction par le charbon, avec ou sans fusion, avec mélange de corps étrangers, cémentation incomplète, masses considérables, 34. — Réduction par le gaz hydrogène, 37.

ART. IV. — Fusion. 38

Objet, 38.

§ 1er. *Des creusets*. 38

Argiles, fusibilité, action des acides, action des alcalis, pouvoir absorbant, composition, mélanges de graphite, de sable, d'oxide de fer, de pyrites, de calcaire, de magnésie, gisemens, 39. — Composition pondérable de 27 argiles ordinaires, 44. — *Id.* de 7 argiles ferrugineuses, 49. — *Id.* de 5 argiles calcaires et de 4 argiles à foulon, 51. — *Id.* de 5 argiles magnésiennes ou écume de mer, 54. — Hydro-silicate d'alumine, composition pondérable de 3 collyrites, 56. — *Id.* de 5 allophanes. — *Id.* de 6 halloysites, 57. — Argiles-kaolins, composition de 5 variétés, 59. — Préparation des argiles, triage, pourrissage, 62. — Fabrication des creusets, coulage, dessiccation, forme, 63. — Propriétés essentielles, 65. — Résistance aux changemens de température, mélange de cément, 65. — Infusibilité, 66. — Composition de 7 creusets et de 2 briques réfractaires, mélange de plombagine, mélange de combustibles, couverte, 67. — Composition de 3 porcelaines, 71. — Résistance à la corro-

sion, matières corrosives, 74. — Imperméabilité, compacité des pâtes, nature des pâtes, 75. — Propriétés, incompatibles, 75. — Essai des creusets, essai direct, essai de la perméabilité, essai de la solidité, 76. — Creusets de charbon, 78. — Creusets brasqués, brasque, préparation, forme, conservation, brasque huileuse, avantages des creusets brasqués, 79. — Brasques terreuses, 83. — Creusets de fer ou de fonte, 83. — Creusets d'argent et de platine, 84.

Pages.

§ 2. *Moyen d'opérer la fusion, etc.* 84

Choix des creusets, grandeur, couvercle, luts, 84. — Introduction de la matière, tassement, recouvrement, fromage, 85. — Placement des creusets, introduction dans le fourneau, 86. — Opération, mise en feu, fin de l'essai, ouverture des creusets, examen des culots, aspect des creusets, 87.

ART. V. — Distillation, sublimation, définition.. 90

§ 1er. *Emploi des cornues.* 90

Cornues, formes, composition, 90. — Cornues lutées, application des luts, 92. — Cornues d'argile, perméables, imperméables, vernies, porcelaine, 93. — Fabrication des cornues, 95. — Emploi des cornues, remplissage, par le col, par la tubulure, 96. — Cornues métalliques, 96. — Opération, commencement, fin, récipiens, 96.

§ 2. *Moyens de recueillir les gaz.* 99

Appareil, 99. — Luts, lut gras, ciment romain, plâtre, graine de lin, chaux vive, blanc de plomb, cire jaune, mastic mou, résine, papier collé, colle, vessie, 100. — Tuyaux de caoutchou, 103. — Tuyaux de carton huilé, 105.

§ 3. *Condensation des vapeurs.*. 105

Moyens de refroidissement, siphons, filtres, vase de Mariotte, précautions, 105.

§ 4. *Sublimation dans des matras, des tubes ou des creusets*..... 108

Matras à sublimer, opération, 108. — Capsules, 109. — Creusets, 109.

ART. VI. — Opérations qui se font dans des tubes à fourneaux. 109

Nature des tubes, 109. — Tubes de verre blanc et à bouteille, moyen de les chauffer, tubes de verre à boules, 110. — Tubes de fer, 112. — Tubes de porcelaine, moyen de les chauffer et de les disposer, 113. — Moyen de produire les vapeurs qu'on fait passer dans les tubes, 114. — Récipiens, 11. — Dosage de l'eau, 115. — Moyen d'expulser l'air, 116.

CHAP. II. — *Des fourneaux*. 117

SECTION Ire. — Fourneaux aspirateurs. 117

Pages.

ART. 1er. — Fourneaux de calcination. 117

Forme, 117. — Cuve, 118. — Grilles, à pied, plates, 118. — Cendrier, 119. — Cheminée, tuyaux, conduits en brique, 119. — Température, 119. — Fourneaux d'évaporation, 120. — Paillasse, hotte, tuyau aspirateur, 120.

ART. II. — Fourneaux à réverbère. 120

Fourneau, laboratoire, dôme, 120.

ART. III. — Fourneaux à vent. 122

Disposition, fourneau Macquer, fourneau ordinaire, fourneau à acier, fourneau accessoire, 122. — Forme, rectangulaire, circulaire, pyramidale, fourneau de Chenevix, 124. — Cuve, cendrier, 125. — Grille, à pieds, à barreaux mobiles, grilles latérales, fond plein, 126. — Couvercle, 127. — Cheminée, registre, vitesse de l'air chaud, influence de la combustion, vitesse réelle, loi, formules, cheminées sinueuses, effet du refroidissement, formules, effet des diaphragmes, effet d'un fort tirage, choix des matériaux, formes, ouvertures latérales, ouvertures aspirantes, cheminées d'appel, 128.

SECT. II. — Fourneaux à soufflet, ou forges d'essai.. . 135

ART. 1er. — Machines soufflantes.. 135

Grandes machines, soufflet d'orgue, régulateur à robinet et à coulisse, dimensions, 135.

ART. II. — Dispositions diverses.. 136

Forge maréchale, 136. — Manchon mobile, 137. — Forge à trois tuyères, 137. — Forge à trois vents, inconvéniens, 138. — Forge de l'École des Mines, 139. — Forge d'Aikin, à vent inférieur, à vent latéral, 139. — Forge suédoise, inconvéniens, 140.

SECT. III. — Comparaison des fourneaux à vent et des fourneaux à soufflet. 142

Température, *maximum*, vitesse d'échauffement, 142. — Durée du feu, avantage des fourneaux à vent, utilité des forges, 143. — Distribution de la température, lieu du *maximum*, courans latéraux, grilles latérales, 144.

SECT. IV. — Emploi des fourneaux. 146

Dimensions, 146. — Opération, placement des creusets, mise en feu, conduite du feu, fin de l'essai, second essai, inconvéniens, 146. — Combustible, cendres de bois et de coke, pouvoir calorifique, avantage du coke, choix des morceaux, grosseur, 148. — Effets et consommations, 151. — Outils, ringards, pinces, pelles, masques, 153.

Pages.

SECT. V. — Fourneaux de coupelle ou à moufle. 154

Forme, grandeur, 154. — En tôle forte garnie, 154. — En terre cuite, cendrier, laboratoire, dôme, moufle, 155. — Petit fourneau elliptique, dimensions, grille, moufles, dôme, cheminée, inconvéniens, 157. — Combustible, 159. — Fourneaux à soufflet, 159. — Température, 160. — Emplacement, 160. — Fourneau d'Aikin, 160. — Fourneau de calcination, 161. — Outils, ringards, pinces, cuillères, pelles, masques, 161. — Coupelles, préparation, moules, qualités des bonnes coupelles, 162.

CHAP. III. — *Des opérations qui se font sur de très petites quantités de matière.* 165

SECTION Ire. — Essais au chalumeau. 165

ART. Ier. — Description des chalumeaux. 165

§ Ier. *Chalumeaux à bouche.* 166

Ancien chalumeau, chalumeaux de Bergmann, de Gahn, de Woigt, de Tennant, de Wollaston, 166. — Comparaison des chalumeaux, 167. — Becs, nettoyage, orifice, 167. — Chalumeau en verre, 168. — Forge du pyrognoste, 168.

§ 2. *Chalumeaux mécaniques.* 170

Lampe d'émailleur, 170. — Vessie comprimée, 170. — Chalumeau de M. Danger, 171. — Gazomètre, 171.

§ 3. *Combustibles.* 172

Chandelles, 172. — Bougies, 172. — Lampes à alcool, 172. — Lampes à huile, huile, mèches, 172. — Lampe de M. Berzélius, support, 173. — Lampe d'émailleur, mèche, position du bec, largeur des orifices. 174.

§ 4. *Nature et effets du dard.* 175

Température, 175. — Lumière, 175. — Nature de la flamme, base, cône intérieur, cône lumineux, cône extérieur obscur, 177. — Nature du dard, forme et grandeur, force du vent, flamme bleue, haute température, partie lumineuse, partie non lumineuse, partie réduisante, 178.

§ 5. *Chalumeaux à haute température.* 179

A oxigène libre, 180. — A oxigène comprimé, 180. — A oxigène et hydrogène, gaz non mêlés, gaz mêlés, appareil de sûreté, 180. — Chalumeau de gomme élastique, 182. — Gaz d'éclairage, 183. — Usages, avantages, inconvéniens, 183.

ART. II. — Supports. 184

Charbon, 184. — Platine, fil, feuilles, cuillères, 184. — Disthène,

argile, 185. — Coupelles, 186. — Tubes de verre, ouverts, fermés, et matras, 186.

Pages.

ART. III. — Instrumens accessoires. 187

Pinces, 187. — Cisailles, 187. — Marteaux, enclume, 187. — Couteau, limes, mortiers, 188. — Loupes, ordinaires et à la Wollaston, 188. — Boîte à réactifs, 188. — Plateau, flacon, étui, boîte, étau, briquet, ciseaux, lampe, verres de montre, chevrette, 189. — Barreau aimanté, simple ou combiné, 190. — Trousse, table, 191.

ART. IV. — Réactifs. 192

Carbonate de soude, 192. — Borax, 192. — Sel de phosphore, 193. — Nitre, 193. — Acide borique, 193. — Sulfate de chaux, 193. — Spath fluor, 193. — Silice, 194. — Nitrate de cobalt, 194. — Oxide de nickel, 194. — Oxide de cuivre, 194. — Étain, 194. — Fer, 194. — Plomb, 195. — Cendres d'os, 195.

ART. V. — Mode d'opérer. 195

Effets à observer, sans flux, avec flux, 195. — Calcination, 196. — Distillation sèche, 196. — Grillage, 197. — Réduction, 197. — Fusion, 198. — Coupellation, 199.

ART. VI. — Phénomènes caractéristiques. 200

§ 1er. *Coloration des flammes*. 200

Généralités, opérations, phénomènes, circonstances de la coloration, 200. — Flamme rouge, 202. — Flamme bleue, 202. — Flamme verte, 203.

§ 2. *Réaction des alcalis et des terres*. 203

Potasse, 204. — Soude, 204. — Lithine, 204. — Baryte, 204. — Strontiane, 205. — Chaux, 205. — Magnésie, 205. — Alumine, 205. — Glucine, 206. — Yttria, 206. — Zircône, 206. — Thorine, 206.

SECT. II. — Opérations qui se font dans des tubes de verre. 206

ART. 1er. — Généralités. 206

Avantages, 206. — Foyer, 207. — Tubes, porte-tubes, 207. — Manche, papier, fil, liége, 208.

ART. II. — Opérations. 208

Dissolution, sous pression, dissolution lente, 208. — Évaporation, moyen de l'accélérer, 209. — Distillation, appareil, récipient, 209. — Rectification, tubes courbes, tubes à plusieurs coudes, tubes à double courbure, 210. — Sublimation, tubes droits, pesée, condensation, 211. — Gazification, cloches de M. Cooper, cloche de M. Kerr, tubes pliés sur un prisme, tubes droits, cloches courbes, appareil de Wolf, 212. —

Liquéfaction du gaz, 213. — Grillage, 213. — Calcination, fusion, exemples, 213.

Pages.

CHAP. IV. — *Des combustibles*.. 216

SECTION Ire. — Des combustibles considérés en général. 216

ART. Ier. — Notions fondamentales. 216

Nature des combustibles, 216. — Combustion, 217. — Carbonisation et distillation, charbon, gaz liquides, 217. — Moyens d'analyse, analyse médiate, analyse immédiate, 218. — Pouvoir calorifique, 219. — Essais préliminaires, distillation, combustion, action de la potasse, 219.

ART. II. — Analyse immédiate. 220

Appareil, opération, 220. — Produits gazeux, cloche à robinet, 221. — Produits liquides, appareil, remarque, 222. — Charbon, appareil, mélange de poussier, essai par le nitre, 222. — Cendres, incinération, 224.

ART. III. — Pouvoir calorifique.. 224

Termes de comparaison, 224. — Eau vaporisée, 225. — Glace fondue, calorimètre de Laplace, 226. — Échauffant de l'eau, calorimètre de Rumfort, précautions, 226. — Méthode de Marcus Bull, appareil, opération, 227. — Essai par la litharge, principe, conséquence, opération, vérification, choix de la litharge, carbone équivalent, utilité, 228. — Rayonnement, appareil, opération, précaution, 232.

SECT. II. — Du bois. 234

ART. Ier. — Propriétés physiques. 234

Structure, sève, 234. — Hygrométricité, dessiccation, 234. — Pesanteur spécifique, correction relative à la porosité, résultats, 235. — Poids du bois cordé, résultats de pesées, résultats de Marcus Bull, 237.

ART. II. — Composition et propriétés chimiques. 239

§ Ier. *Caractères et composition*. 239

Caractères, action de l'air et de l'eau, action du chlore, 239. — Composition, 240.

§ 2. *Distillation*. 241

Produits généraux, résultats d'expériences, 241. — Effets de la température, résultats de Saussure, résultats de M. Mollerat, résultats de Stolz, 242. — Produits liquides, huiles, goudron, pyrétine, pyrélaïde, paraffine, eupion, acide pyroligneux, acide acétique, esprit pyroacétique, 243.

§ 3. *Carbonisation*. 244

Contraction, 244. — Résultats, selon M. Karsten, selon Marcus Bull, 244.

— Résultats d'expériences directes, carbonisation d'Auvergne, carbonisation du Bas-Rhin, 249. — Données admises dans les usines, 254. — Effets de l'eau, de la sève, de l'imbibition, 255. — Bois colorés et résineux, hématine, 255. — Bois mort, 256. — Carbonisation opérée en grand, meules, fosses, méthode de M. Schwartz, distillation, 258. — *Maximum* de produit possible, 259.

Pages.

§ 4. *Incinération*. 259

Proportion des cendres, résultats, 259. — Composition des cendres, effets de la température, résultats, composition de trente-quatre espèces de cendres, 260. — Composition des cendres de cinq espèces de graminées, 268.

§ 5. *Combustion*. 270

Flamme, fumée, production d'une grande flamme, 270. — Oxigène, consommé, 270. — Suie, noir de fumée, 271.

§ 6. *Pouvoir calorifique*. 273

Résultats de Rumfort, 273. — Résultats de Marcus Bull, 273. — Résultats obtenus avec la litharge, 273. — Influence de la dessiccation, expériences, conséquences, 274. — *Maximum* du pouvoir calorifique, 276. — Température du gaz de la combustion, 273. — Combustion incomplète, 277. — Pouvoir calorifique du bois ordinaire, 277. — Rayonnement, 278.

SECT. III. — Du charbon de bois. 278

ART. 1er. — Propriétés physiques. 278

Caractères, 278. — Condensation des vapeurs et des gaz, 278. — Condensation de la vapeur d'eau, 279. — Densité, résultats de Marcus Bull, 278. — Poids du charbon mesuré, données pratiques, charbon anhydre, 280.

ART. II. — Composition, propriétés chimiques. 281

Matières volatiles, 282. — Combustion, oxigène consommé, 282. — Proportion de l'eau hygrométrique, durée de l'absorption, 282. — Cendres, proportion, remarque, 284. — Analyse immédiate, 285.

ART. III. — Pouvoir calorifique. 285

Emploi de la litharge, remarque, 285. — Résultats analytiques et calorifiques, composition de quatorze espèces de charbon, 286. — Calories, 289. — Donnée de la pratique, influence de l'essence, influence du temps, influence du procédé, conséquences, influence de la densité, influence des matières volatiles, influence de la combustibilité, 289. — Rayonnement, 291.

SECT. IV. — De la tourbe. 292

ART. 1er. — Propriétés physiques. 292

Gisement, espèce, 292. — État des végétaux, aspect, 292. — Pesanteur spécifique, 293.

Pages.

ART. II. — Composition, propriétés chimiques. 293

Ulmine, débris végétaux, matières terreuses, 294. — Distillation, produits, 294. — Carbonisation en meules, en vases clos, charbon, 295. — Incinération, origine des cendres, composition, usage, 295. — Analyse immédiate, 296. — Combustion, 296. — Composition de quatorze espèces de tourbe, 297.

ART. III. — Pouvoir calorifique. 300

SECT. V. — Du charbon de tourbe. 300

Caractères, pesanteur spécifique, 300. — Combustion, 301. — Composition, 301. — Pouvoir calorifique, 301. — Rayonnement, 302. — Résultats analytiques et calorifiques, 302. — Analyse médiate, 303. — Usages métallurgiques, 304. — Usages docimasiques, 304.

SECT. VI. — Des combustibles minéraux. 304

ART. 1er. — Généralités. 304

Définition, composition, origine végétale, 304. — Formation, 305. — Classification, lignites, houilles, anthracites, 306. — Analyse immédiate, 306. — Distillation, 306. — Pyrites mélangées, dosage par l'eau régale, par incinération, après calcination, remarque, 307. — Pouvoir calorifique, influence des pyrites, précaution, 308.

ART. II. — Des lignites. 309

Classification, 309.

§ 1er. *Lignites purs*. 309

Bois fossile, caractères, propriétés, composition, 309. — Bois bitumineux, caractères, localités, composition, 310. — Lignite commun, caractères, propriétés, 311. — Combustion, cendres, 312. — Composition de sept lignites, 312. — Usages, 314.

§ 2. *Lignites terreux*. 315

Composition de cinq variétés, 315.

ART. III. — Des houilles proprement dites. 316

§ 1er. *Propriétés physiques*. 316

Caractères, pesanteur spécifique, 316. — Hygrométricité, 317. — Matières mélangées, argile, carbonate de chaux, carbonate de fer, pyrite, oxide de titane, autres substances, 317. — Houilles à feu grisou, nature du gaz, mélanges explosifs, lampe de Davy, 319.

§ 2. *Distillation*. 320

Produits, houilles grasses, houilles sèches, 320. — Influence de la température, 320. — Gaz d'éclairage, nature, influence de la température, volume produit, pouvoir éclairant, mélanges explosifs, purification,

composition, 320. — Produits liquides, eau acide, goudron, naphtaline, paranaphtaline, usages, 323.

Pages.

§ 3. *Combustion*. 325

§ 4. *Pouvoir calorifique*. 326

Données d'expériences, 326. — Rayonnement, 326.

§ 5. *Classification*. 326

Selon les minéralogistes, selon M. Thomson, selon M. Karsten, 326.

§ 6. *Analyse médiate*. 328

Résultats de M. Ure, 328. — Résultats de M. Karsten, observations, conséquences, 329.

§ 7. *Analyse immédiate et pouvoir calorifique*. 331

Composition de vingt-une houilles grasses de France, 331. — Composition de huit houilles grasses étrangères, 336. — Composition de neuf houilles sèches très carbonées, 339. — Composition de huit houilles sèches peu carbonées, 342.

§ 8. *Emploi des houilles*. 344

Utilité, avantages, 344. — Usages, 344. — Qualités de diverses houilles, houilles à gaz, 345.

ART. IV. — Du coke. 346

Usages, 346. — Caractères, pesanteur spécifique, hygrométricité, 346. — Matières volatiles, 346. — Combustion, 346. — Pouvoir calorifique, 347. — Usage docimasique, inconvénient, 348. — Composition de sept variétés de coke, 349. — Choix du coke, 350.

ART. V. — Des anthracites. 351

Caractères, pesanteur spécifique, 351. — Composition, 351. — Matières mélangées, argiles, pyrites, oxide de fer, empreintes, 351. — Combustion, 352. — Pouvoir calorifique, température, usage, 352. — Classification, vitreuse, commune, graphite, 353. — Composition de six anthracites, 354.

CHAP. V. — *Des réactifs de la* voie sèche *ou des flux*. 359

Définition, classification, 359.

SECTION Ire. — Réductifs. 359

Définition, liste 359.

AR. Ier. — Gaz hydrogène. 360

Propriétés, action sur les oxides, 360. — Préparation, appareil de M. Gay-Lussac, appareil de M. Hare, 360. — Usage, 362.

ART. II. — Charbon. 362

Propriétés, diamant, charbon végétal, action sur les oxides, nature, cendres, charbon pur, 362. — Inconvéniens, emploi par cémentation, 364. — Coke, 365. — Lignite, 365. — Houille, 365.

Page.

ART. III. — Huiles grasses, suif, résines. 366

Huiles grasses, caractères, distillation, action de l'air, propriétés chimiques, saponification, composition, 366. — Suif, caractères, composition, 367. — Résidus, caractères, distillation, propriétés chimiques, composition, 368. — Manière d'agir de ces réductifs, 369.

ART. IV. — Sucre, amidon, gommes. 370

Sucre, caractères, distillation, solubilité, propriétés chimiques, composition, usage, 370. — Amidon, caractères, distillation, propriétés chimiques, composition, 372. — Gommes, caractères, composition, usage, 373.

ART. V. — Acide tartrique. 374

Propriétés, composition, préparation, usage, 374.

ART. VI. — Acide oxalique et oxalate d'ammoniaque. . . . 375

Acide oxalique, caractères, distillation, propriétés chimiques, composition, préparation, usages. 375. — Oxalate d'ammoniaque, propriétés, composition, préparation, 377.

ART. VII. — Pouvoirs réductifs comparatifs. 377

Résultats obtenus avec la litharge, 377.

ART. VIII. — Fer et plomb métalliques. 378

Fer, 378. — Plomb, 378.

SECT. II. — Réactifs oxidans. 379

Liste, 379.

ART. 1er. — Oxigène et air. 379

Oxigène, propriétés, 379. — Air atmosphérique, 380.

ART. II. — Litharge et céruse. 380

§ 1er. *Propriétés*. 380

Litharge, usage, nature, 380. — Céruse, inconvéniens, 381.

§ 2. *Action sur les gazolites et les métaux*. 382

Soufre, sélénium, tellure, arsenic, 382. — Antimoine, 383. — Étain, 383. — Zinc, 384. — Bismuth, 384. — Fer, 385. — Cuivre, deutoxide de cuivre et plomb, 385.

ART. III. — Silicates et borates de plomb. 389

Manière d'agir, préparation, 389.

ART. IV. — Nitrate de potasse, nitre, salpêtre. 390

Caractères, propriétés, manière d'agir, composition, 390.

ART. V. — Nitrate de plomb. 391

ART. VI. — Peroxide de manganèse. 391

ART. VII. — Deutoxide de cuivre. 391

Pages.

ART. VIII. — Peroxide de fer. 391

ART. IX. — Alcalis caustiques. 392

Potasse, caractères, propriétés, composition, préparation, 392. — Soude, propriétés, composition, 393.

ART. X. — Carbonate de potasse ou de soude. 393

Manière d'agir, 393.

ART. XI. — Sulfates de plomb, de cuivre. 394

ART. XII. — Sulfate de soude. 394

Propriétés, composition, manière d'agir, 394.

SECT. III. — Réactifs désulfurans. 395

Liste, 395.

ART. Ier. — Oxigène de l'air. 395

ART. II. — Charbon, manière d'agir. 395

ART. III. — Fer métallique. 396

ART. IV. — Litharge. 396

Manière d'agir, proportion nécessaire, influence des oxides, sulfures alcalins, 396. — Usage, 397. — Sulfure de molybdène, 397. — Sulfure de manganèse, 398. — Sulfure de fer, 399. — Sulfure de cuivre, cuivre pyriteux, 400. — Sulfure d'antimoine, remarque, 401. — Sulfure d'étain, 402. — Sulfure de bismuth, 403. — Sulfure de mercure, 404. — Sulfure de plomb, 405. — Sulfure de barium et de calcium, 405. — Sulfure d'arsenic, 405.

ART. V ET VI. — Alcalis caustiques, 407. — Carbonates alcalins. 407

Manière d'agir, 407. — Terres alcalines, 408.

ART. VII. — Nitre. 408

ART. VIII. — Nitrate de plomb. 408

ART. IX. — Sulfate de plomb. 408

SECT. IV. — Réactifs sulfurans. 409

Liste, 409.

ART. Ier. — Soufre. 409

Caractères, propriétés chimiques, choix, usages, 409.

ART. II. — Cinabre ou sulfure de mercure. 411

ART. III. — Galène ou sulfure de plomb. 411

ART. IV. — Sulfure d'antimoine. 411

ART. V. — Pyrite de fer. 412

ART. VI. — Sulfures alcalins. 412

Sulfure de potassium, caractères, grillage, solubilité, sels, sulfu-

res, sels alcalins, préparation, composition, pyrophore, 412. — Sulfure de sodium, composition, 415. — Manière d'agir des sulfures alcalins, influence du charbon, équivalens, 416.

Pages.

SECT. V. — Réactifs fondans ou flux. 417

Objet des flux, 417. — Liste et classification, 418.

ART. Ier. — Silice. 419

§ Ier. *Caractères et propriétés* 419

Usage, 419. — Caractères, propriétés chimiques, composition, préparation, 419. — Fusibilité des silicates, expériences, manière d'opérer, température, durée du refroidissement, 422.

§ 2. *Silicates alcalins et terreux simples*. 423

Potasse, 424. — Soude, 424. — Baryte, 425. — Chaux, 426. — Magnésie, 427. — Alumine, 428. — Glucine, zircône, 429. — Conséquences, causes de la fusibilité, silicates multiples, 429.

§ 3. *Silicates alcalins et terreux multiples*. 430

Potasse et soude, 430. — Alcali et chaux, 431. — Alcali, alumine et argile, 431. — Lithine et alumine, 432. — Baryte et chaux, 432. — Baryte et alumine, 432. — Chaux et magnésie, péridot, pyroxène, avec spath fluor, avec chlorure de calcium, 433. — Chaux et alumine, grenat, idocrases, laitiers, etc., conséquences, 436. — Chaux et glucine, 440. — Magnésie et alumine, 440. — Glucine et alumine, 440.

§ 4. *Silicates métalliques*. 441

Cérium, 441. — Manganèse, 441. — Manganèse et chaux, 442. — Manganèse et magnésie, 443. — Manganèse et alumine, 443. — Fer, protoxide, battitures, peroxide, 445. — Fer et chaux, 446. — Fer et magnésie, 448. — Fer et alumine, 448. — Fer (peroxide) et chaux, 448. — Fer (peroxide) et alumine, 449. — Fer et manganèse, 449. — Cuivre, protoxide, deutoxide, 449. — Cuivre et alumine, 450. — Antimoine, 451. — Étain, 451. — Zinc, 451. — Zinc et chaux, 451. — Zinc et alumine, 452. — Zinc et fer, 452. — Bismuth, 452. — Plomb, 452. — Argent, 453. — Argent et cuivre, 453. — Argent et plomb, 454. — Divers métaux, 454.

ART. II. — Chaux, magnésie, alumine. 454

Chaux, propriétés, composition, usage, carbonate de chaux, 454 — Magnésie, propriétés, composition, préparation, 455. — Alumine, propriétés, composition, usage, préparation, aluminates alcalins, aluminates de chaux et de magnésie, 456.

ART. III. — Silicates de chaux et d'alumine. 459

Usage, préparation, composition, 459.

ART. IV. — Verres. 460

Verres blancs, composition de sept espèces, remarques, verres fusibles et durs, 460. — Verre à pivette, composition de quatre espèces,

remarque, 463. — Verre à bouteille, composition de cinq espèces, remarque, 463.

Pages.

ART. V. — Acide borique. 466

§ 1er. *Caractères et propriétés*. 466

Caractères, propriétés, composition, préparation, 466. — Fusibilité des borates, 468.

§ 2. *Borates terreux et métalliques*. 468

Baryte, 468. — Chaux, 468. — Magnésie, 469. — Alumine, 469. — Silice, 470. — Argile, 470. — Titane, 470. — Manganèse, 470. — Fer, 471. — Cuivre, 472. — Plomb, 472.

ART. VI. — Borax, borate de soude 473

§ 1er. *Caractères et propriétés*. 473

Manière d'agir, 473. — Usage, propriétés, composition, action dissolvante, 474.

§ 2. *Borates alcalins multiples*. 475

Baryte, 475. — Chaux, 476. — Magnésie, 476. — Alumine, 477. — Silice, 477. — Argile, 477. — Phosphate de chaux, 478. — Sulfate de baryte, 478. — Manganèse, 479. — Fer, 478. — Plomb, 479. — Sulfate de plomb, 480.

ART. VII. — Fluorure de calcium, spath fluor. 480

§ 1er. *Caractères, propriétés*. 480

Caractères, propriétés, composition, usage, 480.

§ 2. *Action fondante*. 481

Silice, 481. — Argile, 483. — Oxides, 484. — Sulfates de soude, de chaux, de baryte, de plomb, 484. — Phosphate de chaux, 485. — Sulfures de barium, de calcium, de fer, 487.

ART. VIII. — Carbonate de potasse, carbonate de soude . . 488

§ 1er. *Caractères et propriétés*. 488

Propriétés générales, fusibilité, silice, oxides, 488. — Carbonate de potasse, 489. — Carbonate de soude, 489. — Préparation, mélanges, 490.

§ 2. *Action fondante*. 491

Terres, chaux, magnésie, silicates, 491. — Oxides de fer, d'étain, de manganèse, de zinc, de cuivre, de plomb, 491. — Carbonates de chaux, de magnésie, de baryte, 493. — Sulfates de chaux, de baryte, 494. — Fluorure de calcium, 495. — Phosphate de chaux, 495. — Silice et silicates, 495.

ART. IX. — Nitre, nitrate de potasse, salpêtre. 495

ART. X. — Sel marin, chlorure de sodium. 495

§ 1er. *Caractères et propriétés*. 496

Usage, manière d'agir, inconvéniens, 496. — Propriétés, composition, mélanges, préparation, 497.

Pages.

§ 2. *Action fondante*. 498

Métaux, terres, oxides, sulfures, litharge, 498. — Carbonates de chaux, de baryte, 499. — Sulfates de baryte, de plomb, 499. — Spath fluor, 500. — Phosphate de chaux, 500. — Silicates, borates, 500.

ART. XI. Flux noir et ses équivalens. 501

Flux noir, préparation, usage, plus ou moins charbonné; composition, 501. — Mélanges équivalens, préparation, tartre charbonné, 502.

ART. XII. — Tartre brut, crème de tartre. 503

Propriétés, composition, calcination, manière d'agir, 503.

ART. XIII. — Sel d'oseille, oxalate acide de potasse. 504

Propriétés, composition, calcination, quadrioxalate, 504.

ART. XIV. — Savon blanc ou marbré. 504

Caractères, composition, calcination, manière d'agir, inconvéniens, 504.

ART. XV. — Pouvoir réductif de différens flux. 505

Résultats obtenus avec la litharge, 505. — Effet particulier des flux alcalins réductifs, 506.

ART. XVI. — Flux complexes non métalliques. 507

Flux de Schlutter, 508. — Flux de Cramer, 508. — Flux de Snack, 508. — Flux de Pelair, 509. — Flux de Kirwan, 509. — Flux de Guyton, 509. — Flux de Chaptal, 509.

ART. XVII. — Litharge et céruse. 510

Manière d'agir, 510. — Alcalis, terres, 509. — Silice, 511. — Silicates, argiles, silicates de chaux, silicate de chaux et d'alumine, 511. — Sulfates de baryte, de chaux, 512. — Spath fluor, 512. — Phosphate de chaux, 512. — Oxides métalliques, titane, manganèse, fer, cuivre, antimoine, étain, zinc, sulfate de plomb, 513. — Amide arsénique et arsénieux, arsénio-silicates, 516.

ART. XVIII. — Verre de plomb, silicate de plomb. 517

ART. XIX. — Borate de plomb. 517

ART. XX. — Sulfate de plomb. 518

ART. XXI. — Oxide de cuivre. 518

ART. XXII. — Oxides de fer. 518

ART. XXIII. — Flux métalliques. 519

Flux de Borrichius, 519. — Flux de Hellot, 519. — Flux d'Amand, 519.

CHAP. VI. — *Des métaux considérés en général.* 519

SECTION Ire. — Propriétés générales. 519

ART. Ier. — Classification. 521

Corps simples, selon M. Ampère, 521. — Caractères des métaux, 522.

— Classification vulgaire, 525. — Classification sous le rapport des essais par la *voie sèche*, 525.

Pages.

ART. II. — Propriétés physiques, atomes. 526

État, 526. — Éclat, 526. — Opacité, 526. — Couleur, 527. — Odeur, 527. Saveur, 528. — Densité, 528. — Dureté, 528. — Fragilité, 528. — Ductilité, malléabilité, 529. — Ténacité, 529. — Recuit, 529. — Élasticité, sonorité, 530. — Structure, 530. — Formes cristallines, 530. — Conductibilité électrique, 531. — Magnétisme, 532. — Conductibilité pour le calorique, 532. — Capacité pour le calorique, 532. — Dilatabilité, 533. — Fusibilité, 333. — Contraction, expansion, 534. — Volatilité 534. — Poids des atomes, 534.

ART. III. — Action des gazolites et de leurs composés sur les métaux, et des métaux les uns sur les autres. 535

Genres de combinaisons, 535.

§ 1er. *Oxigénans* 536

Oxigène, 536. — Air, 536. — Eau, 537. — Acides, carbonique, nitrique, sulfurique, sulfureux, phosphorique, arsénique, organique, 537. — Alcalis, 538. — Sels, nitrates, sulfates, chlorates, sels métalliques, 538.

§ 2. *Hydrogénans*. 538

§ 3. *Sulfurans*. 539

Soufre, 539. — Acide hydro-sulfurique, 539. — Persulfures alcalins, 539.

§ 4. *Séléniurans*, *tellurans*, *phosphurans*, *arséniurans*. . . 539

§ 5. *Chlorurans*. 539

Chlore, 539. — Acide hydro-chlorique, 540 — Eau régale, 540. — Sel ammoniac, 540.

§ 6. *Brômurans*. 540

Brôme, acide hydro-brômique, 540.

§ 7. *Iodurans*. 541

§ 8. *Fluorurans*. 541

Fluor, 541. — Acide hydro-fluorique, 541. — Acide nitro-fluorique, 541

§ 9. *Borurans*, *siliciurans*. 541

Bore, silicium, 541. — Acide borique, silice, 541.

§ 10. *Carburans*. 541

§ 11. *Métaux*. 542

ART. IV. — Composés oxigénés. 342

Caractères, éclat, couleur, odeur, saveur, 542. — Action de la chaleur, fusibilité, fixité, 543. — Réductibilité, 543. — Grillage, 543. — Action des gazolites, hydrogène, soufre, phosphore, arsenic, chlore, sel ammoniac, 544. — Métaux, 545. — Eau, 545. — Acides carbonique, nitrique, sulfurique, hydro-sulfurique, phosphorique, arsénique, muriatique, hydro-fluorique, borique, silicique, 545. — Alcalis, potasse, soude, ammoniaque, 547. — Oxides, 548. — Sels, 545. — Force

des oxides, 548. — Composition, 549. — Hydrates, caractères, propriétés, composition, 549. — Préparation des oxides et des hydrates, 549.

Pages.

§ 2. *Dissolutions métalliques*. 551

Couleur, 551. — Action des bases, 551. — Action des phosphates et arséniates, 552. — Action de l'hydrogène sulfuré, 552. — Action des hydro-sulfates, 552. — Action des prussiates, 553. — Action de la noix de galle, 553.

ART. V. — Composés sulfurés. 554

Sulfures, caractères, calcination, grillage, hydrogène, carbone, chlore, métaux, acides, alcalis, terres alcalines, oxides, sulfures, sel ammoniac, sulfates, borates, silicates, composition, préparation, 554. — Hydro-sulfates, 559. — Sulfures d'oxides, 559. — Oxi-sulfures, nature, préparation, litharge, 559. — Sulfates, calcination, grillage, hydrogène, carbone, substances organiques, gazolites, métaux, eau, alcool, acides, hydrogène sulfuré, composition, 560. — Sulfites, soufre, chlore, acides, composition, 562. — Hyposulfites, caractères, composition, préparation, 563. — Hyposulfates, caractères, composition, 563.

ART. VI. — Composés séléniés 564

Séléniures, caractères, grillage, acides, chalumeau, composition, 564. Hydro-séléniates, 565. — Séléniures d'oxides, 565. — Oxi-séléniures, 565 — Séléniates, caractères, composition, préparation, 565. — Sélénites, caractères, composition, préparation, 565.

ART. VII. — Composés tellurés. 566

Tellurures, caractères, grillage, composition, 566. — Tellurates, caractères, composition, 566.

ART. VIII. — Composés phosphorés. 567

Phosphures, caractères, grillage, composition, préparation, 567. — Phosphates, réductifs, acides, chalumeau, composition, 568. — Phosphites, 569. — Hypophosphites, 569.

ART. IX. — Composés arséniés. 569

Arséniures, caractères, grillage, flux noir, soufre, acides, arséniures, sulfures, composition, 569. — Arséniates, caractères, charbon, hydrogène sulfuré, composition, 570. — Arsénites, caractères, composition, 570.

ART. X. — Composés azotés. 571

Nitrates, calcination, corps oxidables, eau, acide sulfurique, composition, 571.

ART. XI. — Composés chlorés. 572

Chlorures, caractères, fusibilité, volatilité, grillage, gazolites, métaux, eau, acides, oxides, ammoniaque, chlorures, sulfures, sels, composition, chalumeau, préparation, 572. — Hydro-chlorates, 575. — Hydro-chlorate de chlorures, 576. — Oxi-chlorures, 577. — Chlorures d'oxides ou chlorites, 577. — Chlorates, calcination, corps oxidables, acides, sels d'argent, composition, préparation, 577. — Perchlorates, caractères, composition, 578.

Pages

ART. XII. — Composés brômés. 579

Brômures, chlore, acides, chalumeau, composition, préparation, 579 — Brômures d'oxides, 579. — Brômates, 579.

ART. XIII. — Composés iodés. 58e

Iodures, caractères, acides, oxides, iodures, chalumeau, composition. iode, préparation, 580 — Hydriodates, 581. — Oxi-iodures, 581. — Iodates, calcination, acides, composition, préparation, 581.

ART. XIV. — Composés fluorés. 582

Fluorures, calcination, charbon, eau, acides, fluorures, chlorures, sels, chalumeau, composition, préparation, 582. — Hydro-fluates, 584. — Hydro-fluates de fluorures, 584. — Oxi-fluorures, 584. — Fluo-borates, 584. — Fluo-silicates, propriétés, composition, préparation, 585.

ART. XV. — Composés borés. 585

Borates, calcination, cristallisation, charbon, acides, composition, préparation, 585.

ART. XVI. — Composés silicés. 587

Silicates, fusibilité, réductibilité, acides, alcalis, chalumeau, composition, 587.

ART. XVII. — Composés carbonés. 590

Carbures, 590. — Carbonates, calcination, réductifs, acides, composition, 591. — Oxalates, calcination, solubilité, acides, composition, 591. — Acétates, calcination, solubilité, composition, 592. — Succinates, benzoates, caractères, composition, 592. — Tartrates, calcination, composition, 593.

ART. XVIII. — Composés carbo-azotés ou cyanés. 593

Cyanures simples, 593. — *id.* multiples, usages, préparation, composition, 593. — Sulfo-cyanures, 595. — Cyanates, 595. — Fulminates, 595.

ART. XIX. — Alliages. 595

Caractères, ductilité, changement de température, fusibilité, liquation, calcination, grillage, soufre, composition, préparation, 595.

SECT. II. — De la manière d'être des métaux dans la nature, et des matières qui les accompagnent. . . . 599

ART. 1er. — Manière d'être des métaux dans la nature. . . 599

§ 1er. *États sous lesquels on trouve les métaux*. 599

Oxides ; sulfures, séléniures, tellurures, arséniures, chlorures, iodures, fluorures, oxi-sulfures, telluro-sulfures, arsénio-sulfures, antimonio-sulfures, oxi-chlorures, hydrates, carbonates, sulfates, phosphates, arséniates, silicates, borates, aluminates, chrômates, vanadates, tungstates, molybdates, titanates, tantalates, chloro-phosphates et chloro-arséniates, 599.

§ 2. *Gisemens*. 603

Manière d'être, couche, amas, nids, rognons, noyaux, filons, veines, 603. terrains, 604. — Roches 604.

Pages.

ART. II. — Des gangues. 605

Minerais, 605. — Gangues, métalliques, pierreuses, 605.

§ 1er. *Quarz* ou *cristal de roche*. 605

Forme, caractères, chalumeau, quarz limpide, 606. — Quarz compacte, quarz concrétionné, action des alcalis, gisemens, 606.

§ 2. *Feld-spath*. 608

Cinq espèces, 608. — Feld-spath, 608. — Albite, 608. — Labrador, 609. Anorthite, 609. — Riakotite, 609. — Composition, 610.

§ 3. *Carbonate de chaux, pierres calcaires*. 610

A. Calcaire pur, caractères, états divers, formation, nature des chaux qu'il donne, grasse, maigre, hydraulique, ciment, action fondante, moyen d'analyse, 611. — Composition de sept espèces de pierres à chaux grasse, 614. — Composition de sept espèces de pierres à chaux hydrolique, 615. — Composition de cinq pierres à ciment naturel, 617. — B. Calcaires magnésiens, caractères, formations, action fondante, composition de treize variétés, 618. — C, carbonates à plusieurs bases, 622. — Composition de sept carbonates à trois bases, 623. — Composition de six carbonates à quatre bases, 624.

§ 4. *Arragonite*. 626

Composition, caractères, chalumeau, gisemens, 626.

§ 5. *Carbonate de baryte, withérite*. 627

Caractères, flux, composition, gisemens, 627.

§ 6. *Sulfate de chaux*. 627

Gypse, caractères, chalumeau, composition, 627. — Anhydrite, caractères, chalumeau, flux, composition, 628. — Gisemens, 629.

§ 7. *Sulfate de baryte, spath pesant*. 630

Caractères, chalumeau, flux, composition, gisemens, 630.

8. *Spath fluor*. 631

Caractères, chalumeau, flux, acides, composition, gisemens, usages, 631.

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

ERRATA.

Pages.	lig.	
4	7	en remontant, au lieu d'assai, *lisez* essai
7	14	au lieu de qu'il m'a, *lisez* qu'il a
23	17	au lieu de irréductible, *lisez* réductible
58	8	en remontant, au lieu de (3), *lisez* (2)
69		après le n° 4, *lisez* n° 5, creusets de la fabrique d'acier fondu de Saint-Étienne; et ligne 20, au lieu de (5), *lisez* (6)
73		Silice..... 0,416 / Alumine.. 0,434 / Eau..... 0,150 } 1,000, *lisez* Silice..... 0,730 / Alumine.. 0,162 / Potasse... 0,084 } 0,976
83	6	au lieu de concentration, *lisez* cémentation
109	3	en remontant, au lieu de ART. IV, *lisez* ART. VI
154	1	au lieu de SECTION IV, *lisez* SECTION V
158	16	au lieu de arc, *lisez* axe
162	4	au lieu de scarification, *lisez* scorification
162	12	au lieu de spiriques, *lisez* sphériques
169	12	l'explication des planches, *lisez* l'explication des planches, fig. 7
255	19	au lieu de combinaison, *lisez* carbonisation
279	6	en remontant, au lieu de 1,50°, *lisez* 1,50
296	7	en remontant, au lieu de se dissout, *lisez* s'est dissous
299	4	au lieu de (7) (8) (9) (10), *lisez* (8) (9) (10) (11)
299	7	au lieu de (11), *lisez* (7)
320	19	en remontant, au lieu de fritte, *lisez* fritté
322	2	au lieu de connecoal, *lisez* cannelcoal
323	6 et 10	au lieu de napthaline et paranapthaline, *lisez* naphtaline et paranaphtaline
332		colonne (18), au lieu de Épinac, *lisez* Le Treuil
336	2	en remontant, au lieu de Glamogan, *lisez* Glamorgan
341	12	au lieu de Boulaouen, *lisez* Poulaouen
359	7	au lieu de friabilité, *lisez* fusibilité
366	1	après avec formation d'acide hydro-chlorique, *lisez* ou hydro-brômique, ou hydriodique
373	14	en remontant, au lieu de isoméziques, *lisez* isomériques
385	1	au lieu de 243, *lisez* 24,3
392	2	en remontant, au lieu de carbonatates, *lisez* carbonates
394	2	en remontant, au lieu de NaS^3, *lisez* $\dot{N}a\ \dot{S}$
397	11	au lieu de qu'elle, *lisez* qu'il
418	16	en remontant, au lieu de fluorum, *lisez* fluorure
424	14	au lieu de $\dot{K}S^2$, *lisez* $\dot{K}S^9$
427	10	à la marge, au lieu de tafeldspath, *lisez* tafelspath
434	15	au lieu de allalite, *lisez* allanite
474	19	au lieu de à, *lisez* de
477	9	en remontant, au lieu de brax, *lisez* borax
480	15	au lieu de fluorum, *lisez* fluorure
503	18	au lieu de $\ddot{\dot{K}}\ddot{\dot{T}} + \dot{H}$, *lisez* $\ddot{\dot{K}}\ddot{\dot{T}}^{a} + \dot{\dot{H}}$
511	15	au lieu de PS^{34}, *lisez* PS^3
522	7	en remontant, au lieu de canitézides, *lisez* cassitérides
534	8	en remontant, au lieu de Cn, *lisez* Cu
552	25	au lieu de déprotoxidés, *lisez* de protoxides
559	26	au lieu de M. Acfwedson, *lisez* M. Arfwedson
559	3	en remontant, au lieu de aux, *lisez* avec les
567	13	en remontant, au lieu de minime quantité, *lisez* même quantité
577	5	au lieu de oxi-chlorates, *lisez* oxi-chlorures
597	2	au lieu de M. Dobenirer, *lisez* M. Doberciner
601	15	au lieu de nickelspielglanzerz, *lisez* nickel-spiesglanzerz
606	14	au lieu de sinople, *lisez* zinapel
620	16	au lieu de liais, *lisez* lias
621	23	au lieu de raurhwake, *lisez* rauchwake

TRAITÉ
DES ESSAIS
PAR LA VOIE SÈCHE.

INTRODUCTION.

Définition. — La Docimasie est l'art d'essayer et d'analyser les minéraux et toutes les substances que produisent les arts qui s'exercent sur les minéraux. *Docimasie* vient d'un mot grec qui signifie *essai, épreuve, recherche.* Dans l'origine, et lorsque la Chimie n'était encore qu'un amas de faits incohérens, résultats des travaux bizarres des alchimistes, la Docimasie n'était effectivement que l'art d'essayer les minéraux métalliques, pour reconnaître et en extraire les métaux qu'ils contiennent; elle ne consistait qu'en un certain nombre de formules en général très compliquées, et par conséquent défectueuses; c'était le rudiment de ce que nous désignons aujourd'hui sous la dénomination d'*essais par la voie sèche;* mais cette science a suivi tous les progrès de la Chimie, et depuis que celle-ci est devenue régulière et positive, la Docimasie a étendu ses vues, et elle a pris un très grand développement. Il faut donc oublier l'acception étroite que son nom tire de son origine.

Division. — Elle comprend : 1°. les essais par la voie sèche; 2°. et l'analyse par la voie humide.

On dit qu'*on fait un essai par la voie sèche,* lorsque pour reconnaître la nature d'une substance minérale, pour constater quelques-unes de ses propriétés, ou pour rechercher la proportion de l'un ou de quelques-uns de ses élémens, on n'emploie que l'action de la chaleur et des flux.

Les anciens docimasistes n'opéraient presque jamais que par la voie sèche, et ils attachaient même de l'importance Voie sèche.

à n'avoir recours que le plus rarement possible à la voie humide. A une époque où la composition des combinaisons les plus simples n'était pas exactement connue, la voie sèche était effectivement préférable à la voie humide, au moins en ce qui concerne les substances métalliques, parce que cette méthode a l'avantage de produire en nature le métal ou un alliage de quelques-uns des métaux contenus dans la substance à essayer; mais on n'a pas tardé à s'apercevoir que les résultats de la voie sèche n'avaient point en toute circonstance l'exactitude qu'on leur avait supposée d'abord, et que dans beaucoup de cas ils étaient variables, et par conséquent simplement approximatifs; et la Chimie ayant inventé de nouveaux moyens, on a pris le parti de procéder par la *voie humide*, c'est-à-dire d'employer comme agens chimiques les liquides ou les réactifs en dissolution, toutes les fois que la voie sèche a paru insuffisante : de là est née l'*analyse minérale*, science qui a pour objet la détermination de la nature et de la proportion de tous les élémens d'une substance minérale quelconque, et à laquelle la Chimie générale et les Arts doivent un grand nombre de découvertes importantes.

Voie humide.

Voie mixte.

Aujourd'hui, lorsqu'on a à faire l'analyse d'un minéral, on le soumet soit aux opérations de la voie sèche, soit aux opérations de la voie humide, selon que l'on espère de ces moyens de meilleurs résultats, et le plus souvent on combine les deux méthodes, qui se prêtent un mutuel secours.

Avantages de la voie sèche. — S'il est vrai de dire que l'on ne peut presque jamais déterminer la composition complète d'un minéral qu'en l'analysant par la voie humide, on reconnaît aussi que la voie sèche présente des avantages qui lui sont propres. Voici quels sont ces avantages :

Dosage exact.

1°. Il y a un certain nombre de métaux que l'on sépare de leurs combinaisons avec plus de facilité et d'exactitude par la voie sèche que par la voie humide, et dont il serait même presque impossible de reconnaître la présence par ce dernier moyen, s'ils ne se rencontraient qu'en très petite proportion; tels sont l'argent, l'or, le platine, etc.

2°. Par la voie sèche on parvient, au moyen d'opérations simples et expéditives, à séparer un grand nombre de métaux des substances terreuses et des métaux très oxidables avec lesquels ils peuvent être mélangés ou combinés. Par exemple, on sépare le fer, l'étain, etc., des matières pierreuses, de l'oxide de manganèse, de l'oxide de titane, etc.; le cuivre et le plomb, de l'oxide de fer, etc. Séparation des matières terreuses.

3°. La voie sèche fait connaître promptement et facilement un certain nombre de métaux, d'une manière exacte, ou du moins très approximative; et lors même qu'elle n'en donne pas la proportion rigoureuse, elle n'en est pas moins d'une très grande utilité, lorsqu'on a l'attention de l'appliquer toujours de la même manière, parce qu'alors les résultats sont comparables, et qu'il suffit de constater, par quelques expériences précises, la perte que l'on éprouve, pour calculer avec une exactitude suffisante la proportion cherchée. Dosage facile.

4°. Par les opérations de la voie sèche, on expulse plusieurs substances volatiles dont la présence complique les opérations de la voie humide; et l'on parvient souvent à simplifier l'analyse, en partageant en divers groupes les principes qui se trouvent réunis dans la matière minérale que l'on a à examiner. C'est ainsi qu'en réduisant au creuset brasqué diverses scories provenant du travail du plomb, de l'étain, du cuivre, etc., on a d'une part un alliage, et d'une autre part une matière vitreuse; substances qui sont chacune plus faciles à analyser que la scorie elle-même. Expulsion des substances gênantes.

5°. Les opérations ordinaires de la voie sèche ayant de grands rapports avec ce qui se pratique en grand dans les usines, cette méthode a encore l'avantage, et c'est un des plus importans pour l'ingénieur et pour l'exploitant, de mettre à même de prévoir ce qui arrivera lorsque l'on traitera, dans les ateliers métallurgiques, la matière soumise à l'essai; de connaître immédiatement la proportion des substances qu'on en extraira, et d'éclairer sur le choix des fondans, etc., qu'il faudra employer. Données métallurgiques.

6°. On peut, par la voie sèche, imiter en petit presque toutes les opérations métallurgiques qui se pratiquent en Expériences métallurgiques.

grand, et se livrer à des essais variés et multipliés, sans courir aucun risque et presque sans frais, tandis que les expériences faites en grand sont toujours extrêmement dispendieuses, et compromettent souvent la fortune des entrepreneurs. Considérée sous ce dernier point de vue, la voie sèche peut encore rendre et a déjà rendu de très grands services aux Arts métallurgiques.

But de l'Ouvrage. — On trouve, dans la plupart des Traités de Chimie modernes, des notions assez développées sur l'analyse des minéraux par la voie humide, et M. H. Rose, l'un des savans les plus distingués de l'Allemagne, vient de publier sur ce sujet un Traité complet et qui ne laisse rien à désirer; mais la science des essais par la voie sèche est beaucoup moins répandue; on n'en donne que des idées vagues dans les ouvrages de Chimie généraux ou élémentaires; nous ne possédons sur cette science aucun bon livre moderne, et parmi les écrits que nous ont laissés les anciens docimasistes, quoiqu'ils soient en grand nombre, il n'y a guère que le *Traité des Essais* de Schlutter, traduit en français par Hellot, qui puisse être actuellement de quelque utilité. C'est principalement dans le but de remplir cette lacune dans l'ensemble de nos connaissances chimiques, que je me suis déterminé à publier cet ouvrage. Chargé depuis seize ans de l'enseignement docimasique à l'École royale des Mines, j'ai dû recueillir tous les documens connus sur la matière; j'ai eu à examiner un très grand nombre de matières métalliques de nature extrêmement variée, et il a été de mon devoir de chercher à perfectionner et à simplifier les méthodes autant que possible; c'est ce que j'ai tâché de faire.

Sujets accessoires.

Si je me fusse borné dans cet écrit à exposer les principes de la voie sèche, et à décrire les différens procédés d'assai, j'aurais pu faire un livre assez court; mais comme j'ai composé cet ouvrage dans la vue d'être utile principalement aux ingénieurs et aux exploitans, je me suis décidé, d'après les observations qui m'ont été faites, à y insérer accessoirement tous les documens que les chefs d'usines ont intérêt à connaître; de telle sorte qu'il pût être considéré comme la

Chimie des ateliers métallurgiques; c'est en raison de ces considérations, que j'ai joint aux essais, 1°. un exposé des propriétés chimiques essentielles des métaux et de leurs principales combinaisons, en insistant sur celles de ces propriétés qui jouent un rôle dans les opérations métallurgiques, afin que la théorie de ces opérations en ressortît implicitement; 2°. le tableau de la composition de tous les minéraux métalliques et de tous les produits qui résultent de leur traitement en grand; 3°. un examen détaillé des combustibles que l'on emploie dans les fourneaux, des argiles qui servent à fabriquer les briques et les creusets, etc. Les mêmes considérations m'ont déterminé aussi à ne pas m'astreindre à ne décrire que les opérations dans lesquelles on n'emploie habituellement que l'action de la chaleur et des flux, et au contraire, à montrer tout le parti que l'on peut tirer de certaines opérations de la voie humide, faciles à exécuter, pour simplifier les essais par la voie sèche, et donner plus de précision et d'exactitude à leurs résultats.

Division de l'Ouvrage. — Voici comment a été distribuée la matière que je me suis proposé de traiter dans cet ouvrage; je l'ai répartie en vingt-neuf chapitres; les six premiers ont été consacrés à l'exposition des principes élémentaires et aux notions générales, et les autres à l'étude de chacune des différentes matières métalliques que l'on rencontre dans la nature, ou qui sont le produit des Arts, et à la description des moyens que l'on doit employer pour en faire l'essai.

Opérations.

Dans le chapitre Ier, j'ai décrit toutes les opérations que nécessitent les essais par la voie sèche, mais en me bornant à ce qu'elles ont de général; et j'ai fait connaître en même temps tous les instrumens et outils qui sont nécessaires pour les exécuter.

Fourneaux.

Le chapitre II a été consacré à la description des fourneaux de diverses formes dont on fait usage dans les laboratoires, et à l'examen des effets calorifiques que ces fourneaux produisent.

Chalumeaux et tubes.

Dans le chapitre III, je traite des procédés que l'on a imaginés pour exécuter sur de très petites quantités de ma-

tières, à l'aide du chalumeau et des tubes de verre, toutes les opérations précédemment décrites, et qui se pratiquent dans les laboratoires.

Combustibles. Le chapitre IV a pour sujet les combustibles qui servent à chauffer les fourneaux. Comme ces substances jouent un rôle extrêmement important dans les laboratoires et dans les usines, j'ai présenté un exposé très développé de leurs propriétés, j'ai fait connaître leur composition et les résultats de tous les essais auxquels on les a soumises, et j'ai décrit les procédés qui paraissent les plus convenables pour les comparer entre elles et apprécier leur valeur relative, tant sous le rapport de la proportion de charbon qu'elles peuvent produire, que sous le rapport de la quantité de chaleur qu'elles sont susceptibles de développer.

Réactifs. Le chapitre V a trait aux *réactifs de la voie sèche*, substances que l'on désigne généralement, mais d'une manière impropre, sous le nom de *flux*. J'ai fait connaître leurs propriétés, les moyens de les préparer, leurs principaux usages, etc.; et, à cet égard, je suis entré dans tous les détails que comportait le sujet.

Généralités sur les métaux. Dans le chapitre VI j'ai considéré les métaux sous le point de vue général; j'ai fait connaître leur classification scientifique et l'ordre dans lequel on doit les ranger quand on n'a égard qu'à la manière dont ils se comportent dans les essais par la voie sèche; après quoi j'ai passé en revue leurs propriétés physiques et chimiques, et celles des classes de composés qu'ils forment avec chacun des corps simples que l'on nomme *métalloïdes* ou *gazolithes*, ainsi que des alliages; et j'ai donné ensuite l'énumération des différens états sous lesquels on les a jusqu'ici rencontrés dans la nature. Les matières qui accompagnent les minerais métalliques dans leurs différens gisemens, et qui sont connus sous le nom de *gangues*, jouant un rôle très important dans les essais par la voie sèche et dans toutes les opérations métallurgiques, il m'a paru convenable de les examiner; j'ai fait connaître leurs caractères et leurs propriétés, et j'ai indiqué pour chacune d'elles les réactifs les plus propres à en déterminer la fusion.

Les chapitres VII à XXIX ont été consacrés à l'étude particulière et successive des vingt-sept métaux connus, en suivant l'ordre indiqué précédemment. Chacun de ces chapitres a été divisé en quatre sections : dans la première, on a exposé les propriétés physiques et chimiques du métal qui fait le sujet du chapitre, ainsi que des combinaisons principales que forme ce métal ; dans la seconde, on a énuméré et décrit sommairement tous les minéraux qui renferment le même métal, et l'on a fait connaître leur composition, en citant les résultats des analyses qui ont paru les plus exactes ; dans la troisième section, on s'est occupé des produits métallurgiques, en considérant ces produits successivement sous les mêmes points de vue que les minéraux, et l'on a donné à leur égard toutes les notions qu'il m'a été possible d'acquérir, parce que c'est sur la connaissance précise de ces produits qu'est basée la théorie de la plupart des opérations de la Métallurgie. Enfin, la quatrième section a été spécialement consacrée à la Docimasie : on y a traité des moyens d'obtenir à l'état de pureté, par la voie sèche, le métal qui fait le sujet du chapitre, et des procédés d'essai qui sont applicables aux minéraux susceptibles d'être employés en grand, et que l'on désigne, à cause de cela, par le nom de *minerais*, ainsi qu'aux produits métallurgiques auxquels les uns et les autres donnent naissance, et l'on a eu soin de rapporter différens résultats pour exemples.

Étude des métaux en particulier.

On pourra prendre une connaissance détaillée de la matière qui fait le sujet des vingt-neuf chapitres dont se compose cet ouvrage, en parcourant la table méthodique qui se trouve à la fin de chaque volume.

Les Sciences physiques et chimiques, si intéressantes par elles-mêmes, et dont chacun doit avoir au moins quelque teinture, sont, dans l'état actuel des Arts industriels, absolument indispensables aux exploitans et aux propriétaires d'usines. Ceux qui ne posséderaient pas au moins les notions fondamentales et élémentaires de ces Sciences, n'auraient aucun moyen de se rendre compte des différentes opérations qu'ils pratiquent dans leurs ateliers ; ils

seraient incapables d'en apprécier les défauts ou le mérite; ils se trouveraient livrés au hasard des spéculations les plus bizarres ou même tout-à-fait absurdes, comme cela ne se voyait que trop souvent autrefois, et ils seraient à plus forte raison dans l'impuissance de parvenir à perfectionner leurs procédés par le moyen lent, mais sûr, de l'expérimentation raisonnée.

Comme ces vérités sont généralement senties maintenant, et que personne ne conteste plus la haute utilité des Sciences, j'ai dû supposer au lecteur les connaissances en Physique et en Chimie que l'on acquiert dans les écoles et dans les livres élémentaires; toutefois, j'ai tâché de me rendre intelligible pour le plus grand nombre; et c'est dans cette vue, par exemple, que tout en adoptant les modifications qui ont été introduites récemment dans la nomenclature systématique par MM. Guibourt et Berzélius, je me suis servi simultanément de la nomenclature qui est encore suivie dans les cours publics et dans les Traités élémentaires français.

Cet écrit étant un livre de pure utilité, et non pas un ouvrage de science, j'ai cru pouvoir me dispenser de le charger de citations qui l'auraient allongé sans utilité : néanmoins j'ai toujours nommé les auteurs des analyses, tant pour donner de l'authenticité aux résultats, que pour rendre hommage aux savans à qui elles sont dues; celles qui ne sont accompagnées d'aucun nom ont été faites au laboratoire de l'École des Mines, par moi ou par des élèves sous ma direction.

J'ai joint à cet ouvrage toutes les figures nécessaires à l'intelligence du texte; ces figures sont représentées géométriquement, et ont été dessinées avec précision. Je ne les citerai que sommairement dans le courant du livre, mais on en trouvera la description détaillée à la fin du premier volume, dans un article spécial consacré à l'explication des planches.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DES OPÉRATIONS QUE NÉCESSITENT LES ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE.

Les opérations que nécessitent les essais par la voie sèche sont de deux sortes, les unes mécaniques et les autres chimiques. On désigne ordinairement l'ensemble des premières sous le nom de *préparation mécanique*, parce qu'effectivement elles ont le plus souvent pour objet de préparer le minerai à subir l'essai par le feu ; mais souvent aussi on applique ces opérations aux produits des essais eux-mêmes. Nous rangeons sous le titre d'*opérations mécaniques*, le *cassage*, le *pilage*, le *tamisage*, le *triage*, le *lavage* et la *porphyrisation*. Les *opérations chimiques* sont : la *calcination*, le *grillage*, la *réduction*, la *fusion*, la *distillation*, la *sublimation*, la *scorification*, la *coupellation*, le *moulage* et la *granulation*. Nous allons décrire successivement chacune de ces opérations, ainsi que les instrumens et outils qu'elles exigent.

SECTION PREMIÈRE.

Opérations mécaniques.

ARTICLE PREMIER. — *Cassage.*

Casser ou *concasser*, c'est diviser par le choc une masse solide en morceaux plus ou moins gros. On concasse, soit pour se procurer des morceaux de grosseur voulue, soit pour disjoindre des substances entrelacées les unes dans les autres par agrégation, afin d'en faire ensuite le triage, etc. On se sert pour cela de marteaux de diverses formes et grosseurs (Pl. I, Fig. 1, 2 et 3), ou de pilons. On place le morceau à diviser sur un tas d'acier (Fig. 4), sur le fond d'un mortier renversé, ou sur un sol résistant et bien uni quelconque, ou enfin, dans le fond d'un mortier. Quand on ne craint pas de réduire une partie de la

Marteaux.

matière en poudre, on frappe dessus à grands coups avec la tête d'un fort marteau; mais lorsqu'on veut la diviser en évitant autant que possible de produire de petits fragmens, il faut se servir de la panne d'un marteau de moyenne grosseur ou même très petit, et frapper à coups secs et ménagés sur les points où l'on veut faire passer la fracture; si l'on casse dans un mortier, il faut tenir le pilon verticalement, et frapper sur le morceau dans cette direction. Quand on concasse sur un tas d'acier, et que l'on tient à ne perdre aucun fragment, on place sur ce tas un anneau de fer mobile d'un diamètre plus petit (Fig. 4), qui entoure le morceau.

Tas d'acier.

On a souvent besoin de casser, pour connaître leur grain, des culots métalliques très petits et très tenaces que l'on ne parvient à rompre qu'en les frappant à coups redoublés avec une très grosse masse; les fragmens sont alors presque toujours projetés à une très grande distance, et l'on court risque de les perdre : on évite cet accident en enveloppant les culots dans une feuille de tôle ou de fer-blanc assez épaisse pour résister au choc, et assez mince cependant pour pouvoir être pliée sur elle-même.

Feuilles de tôle.

ARTICLE II. — *Pilage* ou *pulvérisation*.

Mortiers. — Quand on veut réduire une substance en poudre plus ou moins fine, on la pile dans des mortiers. On se sert de mortiers de diverses grandeurs et composés de différentes matières; il y en a en fonte, en acier, en bronze, en porcelaine, en verre, en agate et en porphyre (Fig. 5, 6, 7, 8 et 9). Pour les substances dures, on doit en général préférer les mortiers de fonte; cependant quand on craint le mélange des plus petites traces de fer, on doit se servir de mortiers de bronze. Les mortiers de porcelaine (Fig. 7) ne peuvent être employés que pour piler des substances très fragiles, telles que des pierres étonnées par le feu, ou des matières tendres, telles que les houilles, les sels, etc. Les mortiers d'agate ou de porphyre (Fig. 8) ayant une très grande valeur, on s'en sert rarement pour piler, parce que l'on courrait le risque de les casser; ce-

Diverses matières.

Porcelaine.

Agate.

pendant, en opérant avec précaution, on peut y piler, sans accident, même des substances très dures. Quant aux mortiers de verre, comme ils sont à la fois tendres et fragiles, on doit les bannir des laboratoires docimastiques.

Mortier d'acier.

Lorsqu'on a à piler une substance très précieuse, ou une substance pesée exactement, et dont on ne veut rien perdre, on se sert des mortiers d'acier dont les tailleurs de diamans font usage (Fig. 9) : ils se composent d'un mortier cylindrique en fer, mais dont le fond est en acier fondu trempé ; d'un anneau en fer qui entre exactement dans la cavité du mortier, et d'un pilon en fer dont la partie inférieure est en acier fondu trempé, et dont le diamètre est égal au diamètre intérieur de l'anneau. On met la substance, concassée en petits morceaux, au fond du mortier, garni de l'anneau ; on introduit le pilon dans cet anneau, et l'on donne dessus quelques coups de marteau ou un fort coup de balancier ; on le retire, on remue la matière en tous sens avec la pointe d'un couteau, on la pile de nouveau, et ainsi à plusieurs reprises, jusqu'à ce qu'on juge qu'elle est réduite en particules assez fines ; alors on ôte l'anneau, et l'on recueille toute la matière sans qu'il ait pu s'en perdre la plus petite parcelle.

Poudre grossière.

Opération. — Quand on veut réduire une substance en une poudre grossière qui soit mélangée le moins possible de poudre fine, il faut la piler avec une force moyenne, en tenant le pilon verticalement et dans l'axe du mortier.

Poudre fine.

Quand au contraire on veut avoir une poudre très fine, il faut diriger le pilon un peu obliquement, en ayant soin de ne pas frapper précisément au centre du mortier, et triturer de temps en temps, en faisant parcourir vivement au pilon la circonférence du fond du mortier. Il convient encore, pour obtenir des poudres très fines, de ne piler que de petites quantités de matière à la fois.

Quand une poudre a acquis un certain degré de ténuité, il arrive souvent qu'elle se pelotonne au fond du mortier, qu'elle empâte les gros grains, et les soustrait à l'action du pilon ; dans ce cas, on accélère beaucoup la pulvérisation, en la détachant fréquemment du mortier,

Spatule. et la remuant en tous sens avec une spatule (Fig. 10 et 11) ou avec un couteau (Fig. 12 et 13).

Étonnement. — Toutes les fois qu'une substance que l'on veut pulvériser est très dure et inaltérable par la chaleur, il est très avantageux de la faire chauffer et de la plonger toute rouge dans l'eau avant de la piler; souvent même il est bon de réitérer cette opération plusieurs fois : de cette manière, la substance se trouvant subitement et inégalement dilatée et contractée, se fendille en tous sens, s'*étonne*, comme on dit, et elle devient ordinairement tellement fragile, qu'on peut la pulvériser même par simple pression.

Mélange de quartz. Il y a des corps qui, jouissant d'un certain degré de mollesse et d'élasticité, ne se pilent que très difficilement : on parvient plus facilement à les réduire en poudre en les mélangeant avec une autre substance très cassante, du quarz, par exemple, ou toute autre substance analogue qui ne soit pas nuisible aux opérations subséquentes auxquelles on doit soumettre le corps pulvérisé.

Mortiers couverts. — Lorsqu'on a à piler des substances délétères, on évite que la poussière soit entraînée dans l'air, en l'humectant avec de l'eau; mais alors la pulvérisation est plus difficile : il vaut mieux piler à sec et couvrir le mortier soit avec une planche percée à son centre, soit avec un linge, soit avec un morceau de peau, comme cela se pratique chez les droguistes.

Purification. — Les corps durs que l'on pile dans des mortiers de fonte ou de bronze en détachent toujours de très petites particules métalliques qui restent mélangées dans la poussière : il faut avoir égard à la présence de ces substances, et mieux encore les séparer, quand cela est possible. On enlève aisément la plus grande partie des particules de fonte, à l'aide du barreau aimanté; mais il en reste presque toujours quelques traces qui adhèrent aux particules de la matière pulvérisée. On ne peut enlever ces dernières traces, ainsi que les particules de bronze, qu'à l'aide des agens chimiques, tels que l'acide nitrique, l'acide muriatique ou l'eau régale; mais on ne doit avoir recours à

Barreau aimanté.

Acides.

ces agens que quand ils n'attaquent pas la substance pulvérisée.

ARTICLE III. — *Tamisage.*

Tamis. — Les tamis (Fig. 14 et 15) servent à séparer d'une matière concassée ou pulvérisée, soit la poussière fine qui passe à travers le tamis, soit les grains dont le diamètre est plus grand que la largeur des mailles, et qui au contraire restent dessus. Les tamis à très grosses mailles portent le nom de *cribles;* mais on ne fait usage, dans les laboratoires, que de tamis proprement dits, en crin ou en soie, et de divers degrés de finesse. On fait aussi des cribles en toile métallique, mais il ne convient pas de s'en servir dans les opérations docimasiques, parce qu'ils sont trop altérables.

Cribles.

Crin, soie.

Toile métallique.

Opération. — Quand on veut réduire un corps en poudre très fine, on le pile dans un mortier, on le passe à travers un tamis très serré, on remet dans le mortier ce qui reste sur le tamis, etc.; il n'y a aucun inconvénient à ce que l'on broie pendant long-temps la matière dans le mortier sans la tamiser; mais quand on a l'intention de réduire un corps en grains qui ne dépassent pas un certain degré de grosseur, et d'éviter en même temps la production de poussière fine, il est très essentiel de tamiser le plus fréquemment possible, afin de soustraire au choc du pilon les particules qui ont déjà acquis une ténuité suffisante pour passer à travers le tamis.

Poudre fine.

Poudre grossière.

Lorsque l'on pulvérise un agrégat formé de deux substances de dureté très inégale, par exemple de quarz et d'un minerai métallique, si l'on a l'attention de réitérer fréquemment le tamisage, il arrive qu'à une certaine époque il reste sur le tamis une grande quantité de la substance la plus dure tout-à-fait pure, ce qui a l'avantage d'en séparer immédiatement une grande partie, et de diminuer d'autant la perte qu'éprouve ensuite, au lavage, la substance la plus fragile, et qui est ordinairement aussi la plus précieuse.

Pulvérisation partielle.

Tamis emboîtés. — Les grains qui passent à travers

un tamis n'ont pas tous la même grosseur; mais il n'y en a pas au-dessus d'un certain diamètre déterminé, qui dépend de la finesse de la toile. Pour trier les grains suivant leur grosseur, c'est-à-dire pour avoir des poudres de différens degrés de finesse et à peu près homogènes, il faut passer la substance pulvérisée successivement à travers plusieurs tamis de plus en plus fins. On se sert ordinairement pour cela de tamis emboîtés les uns dans les autres (Fig. 15), auxquels on donne un mouvement d'oscillation particulier que l'habitude fait connaître, et en les frappant sur un sol résistant. Il reste sur chacun des tamis dont se compose l'assemblage, une poudre d'une grosseur particulière. Les grains dont se compose chaque poussière ne sont pas absolument égaux, mais ils approchent d'autant plus de l'être, que le tamis à travers lequel ils ont passé, et celui sur lequel ils sont reçus, diffèrent moins l'un de l'autre par la largeur des mailles. Toutes les fois que la poussière ténue qui se répand dans l'air pendant le tamisage peut être incommode ou dangereuse, il faut se servir de tamis fermés en-dessus par un couvercle, et en-dessous par une boîte qui reçoit la poussière. On peut, quand cela n'a pas d'inconvénient, tamiser en plongeant le tamis dans un grand vase rempli d'eau : la séparation des poussières se fait même beaucoup plus vite de cette manière qu'en tamisant à sec.

ARTICLE IV. — *Triage.*

Opération. — Trier, c'est séparer les unes des autres des substances de nature différente, mélangées mécaniquement ou réunies par agrégation entrelacée. Quand il y a agrégation, on concasse, on pile, et l'on tamise même, si les substances sont mêlées les unes avec les autres en petites parties : dans ce dernier cas, il faut se servir d'un tamis dont les mailles aient une largeur très peu moindre que le diamètre des grains.

Instrumens. — Quand l'adhérence qui existait entre les substances a été détruite, on en opère le triage par différens moyens. Lorsqu'elles sont en partie visibles à l'œil nu, on

les sépare en les saisissant avec des pinces élastiques dites *bruxelles*, en cuivre, en fer ou en platine. (Fig. 16, 17, 18 et 19.) Quand les grains, ayant une certaine grosseur, ne sont cependant que difficilement visibles à l'œil nu, on peut encore en faire le triage à l'aide de pinces très déliées, en s'armant d'une forte loupe ou même d'un microscope. Lorsque le triage ne peut pas se faire ainsi grain à grain, il y a des cas où il peut s'exécuter par d'autres moyens; cela a lieu, 1°. lorsque l'une des substances est magnétique; 2°. lorsque l'une d'elles est très ductile et que les autres sont cassantes; 3°. lorsque l'une d'elles fait pâte avec l'eau et se délaie dans ce liquide, ou est en grains assez fins pour y rester long-temps en suspension; 4°. et enfin, lorsque les substances mélangées ont des pesanteurs spécifiques très différentes. Dans le premier cas, on enlève la substance magnétique à l'aide d'un barreau aimanté : on sépare parfaitement ainsi l'oxide de fer magnétique de ses gangues; le fer, le cobalt et le nickel en grenailles, des scories vitreuses dans lesquelles elles se trouvent souvent disséminées, etc. Dans le second cas, on pile et on tamise : la matière ductile s'aplatit en paillettes d'autant plus larges que l'on a pilé plus fortement, tandis que les autres substances se réduisent en poudre fine : on peut alors séparer la poudre des paillettes au moyen d'un tamis très serré à travers lequel ces dernières ne passent pas; cependant la séparation n'est jamais absolument complète : la partie de la matière ductile qui reste sur le tamis est à peu près pure, mais la poussière qui passe à travers est toujours mélangée de paillettes extrêmement fines qui traversent les mailles. Dans le troisième et le quatrième cas, le triage s'effectue au moyen d'opérations particulières, qui constituent ce qu'on appelle le *lavage*.

Bruxelles.

Loupe.

Barreau aimanté.

Pilage et tamisage.

Lavage.

ARTICLE V. — *Lavage*.

On lave de deux manières : 1°. par suspension dans une eau tranquille, et décantation; c'est ce qu'on appelle *lévigation;* 2°. en soumettant la matière pulvérisée à l'action d'un courant d'eau; c'est le lavage proprement dit.

§ 1er. — Lévigation.

Quand elle est possible.

La *lévigation* ne peut être employée que pour séparer des substances qui peuvent rester long-temps en suspension dans l'eau, d'autres substances qui se précipitent très promptement. Cela a lieu, 1°. lorsque l'une des substances, comme les argiles, fait pâte avec l'eau, parce qu'alors ce liquide a la propriété de les diviser en particules tellement ténues que le toucher en est à peine affecté; 2°. lorsque l'une des substances est beaucoup plus légère que les autres : par exemple, quand on délaie dans l'eau les culots provenant d'un essai au creuset ou d'un essai au chalumeau, après les avoir pulvérisés, le charbon dont ils sont presque toujours mélangés reste pendant quelque temps suspendu, tandis que le métal et les scories se déposent presque aussitôt; 3°. enfin lorsque l'une des substances est en grains beaucoup plus fins que les autres. On peut même séparer par *lévigation* les grains très fins des grains plus gros de la poudre d'une substance homogène; aussi emploie-t-on souvent ce procédé pour obtenir des poussières d'une extrême ténuité.

Matières pâteuses.

Matières de densités inégales.

Grains inégaux.

Opération. — Pour exécuter ce genre de lavage on délaie la poudre dans l'eau (Fig. 20), en ayant soin de la diviser exactement, soit avec la main si l'on opère sur de grandes masses, soit avec une spatule ou un tube de verre si l'on doit éviter d'en perdre la plus petite parcelle; on laisse reposer pendant un certain temps, puis on décante, en faisant en sorte de ne pas agiter le dépôt; on délaie de nouveau celui-ci, on décante une seconde fois, et l'on réitère ces opérations jusqu'à ce que le résidu ne trouble plus du tout l'eau; alors il ne contient plus rien qui soit susceptible d'être tenu en suspension dans l'eau, mais la matière que ce liquide en a séparée est rarement tout-à-fait pure : pour lui enlever la petite quantité de poussière grossière qu'elle peut contenir, on laisse l'eau décantée en repos pendant un certain temps, on décante de nouveau, et l'on purifie le précipité, dans lequel se trouvent tous les gros grains, par un second lavage, et même par un troisième lavage si cela est nécessaire.

Purification.

Théorie.

La théorie de l'opération que nous venons de décrire est facile à saisir. On sait que les corps abandonnés à l'action de la gravité dans un liquide tranquille, éprouvent une résistance à leur chute, qui est proportionnelle à leur surface, quels que soient leur volume et leur densité. Il s'ensuit, 1°. qu'à volumes égaux, les plus lourds tombent le plus promptement; 2°. qu'à densités égales, ce sont les plus gros qui se meuvent avec le plus de vitesse; car dans les grains de grosseurs inégales et de forme semblable, les poids sont proportionnels aux cubes des dimensions, et les surfaces sont proportionnelles seulement aux carrés de ces dimensions; d'où il suit que dans les petits grains la surface est beaucoup plus grande par rapport au poids que dans les gros grains; 3°. qu'à densités et à volumes égaux, les particules qui offrent le plus de surface, celles qui sont écailleuses ou lamellaires, par exemple, éprouvent plus de résistance dans leur mouvement que celles qui, approchant de la forme sphérique, ont une surface moindre. L'adhérence du liquide pour les particules des corps tenus en suspension, fait aussi obstacle à leur chute; cette force est, comme la résistance dynamique, proportionnelle aux surfaces et indépendante des masses. Il résulte de ces principes que, comme dans une poussière tamisée il y a des grains de toutes les grosseurs depuis les plus petits qu'il soit possible d'obtenir jusqu'à ceux d'un diamètre égal à la largeur des trous du tamis, lorsqu'on a laissé pendant quelques instans en repos une pareille poussière mise en suspension dans l'eau, chaque tranche horizontale du liquide, en partant de la surface, renferme des molécules de plus en plus grosses; qu'ainsi en enlevant chaque tranche séparément, on peut obtenir des poudres de divers degrés de finesse, et aussi ténues qu'on le désire; c'est ce qui a lieu effectivement. Quand on opère en grand, on fait écouler successivement les différentes tranches d'eau, au moyen de baquets (Fig. 20) et de tonneaux munis de bondes placées à différentes hauteurs, et que l'on débouche les unes après les autres. On peut avoir des vases

semblables, mais plus petits, dans les laboratoires ; mais il est plus simple et tout aussi commode de se servir de flacons à large ouverture, de capsules un peu profondes, ou d'entonnoirs dans lesquels on introduit un siphon un peu large et amorcé, qu'on enfonce peu à peu dans le liquide à mesure que le niveau s'abaisse, en le tenant toujours à quelques millimètres seulement au-dessous de la surface de ce liquide : le plus souvent même on se contente de décanter l'eau trouble en inclinant doucement le vase qui la renferme. La décantation se fait aussi quelquefois immédiatement du mortier dans lequel on broie la matière avec de l'eau.

Poussières surnageantes.

On remarque que les poussières très ténues des substances les plus pesantes, lorsqu'elles ont été préparées à sec, nagent souvent à la surface de l'eau sans qu'on puisse parvenir à les faire tomber au fond du liquide. Cela tient à ce qu'elles retiennent à leur surface, par adhérence, une quantité d'air assez grande pour les rendre extrêmement légères. On prévient cet effet en triturant les poudres avec de l'eau au lieu de les broyer à sec.

§ 2. — Lavage à l'augette.

Le *lavage* proprement dit, ou *lavage à l'augette*, est un moyen très commode et excellent pour séparer les unes des autres des substances de densités très différentes, et réduites par le pilage et le tamisage en grains de grosseurs très petites et à peu près égales. Les grains assez fins pour pouvoir rester pendant quelque temps en suspension dans l'eau, ne peuvent pas être recueillis par ce moyen ; il

Opérations préliminaires.

faut donc toujours commencer par les séparer par *lévigation* : cette dernière opération prend ordinairement,

Débourbage.

dans ce cas, le nom de *débourbage*. En outre, il est nécessaire que les grains qui restent après la lévigation soient d'une grosseur peu différente les uns des autres, et ne soient pas trop gros : on remplit ces conditions en

Tamisage.

passant la matière pulvérisée à travers un tamis : les tamis de soie un peu lâches, ou les tamis de crin un peu serrés qu'on trouve dans le commerce, sont très propres à cet

Précaution essentielle.

usage. Comme la partie de la poudre qui est très ténue

est entraînée en pure perte par la lévigation, on conçoit que lorsque l'on veut obtenir la plus grande quantité possible d'une substance à l'état de pureté par le lavage, il importe beaucoup de faire en sorte qu'il ne se produise que très peu de poussière fine : on y parvient, comme nous l'avons déjà dit, en tamisant très fréquemment la matière que l'on soumet à la pulvérisation.

Théorie. L'opération du lavage est fondée sur le principe relatif à la chute des corps dans les liquides en repos, que nous avons donné plus haut, et sur cet autre principe, savoir, que dans un fluide en mouvement l'impulsion que reçoivent différens corps est proportionnelle à leur surface et indépendante de leurs masses et de leurs volumes. Il suit de ces principes que dans un fluide en mouvement, à volumes égaux, les corps les moins denses sont ceux qui acquièrent le plus de vitesse, et qui tombent sur le sol à une plus grande distance du point de départ; qu'à densités égales les grains les plus petits sont ceux qui sont transportés le plus loin; et qu'enfin, à densités et à volumes égaux, les particules qui par leur forme offrent le plus de surface, parcourent un plus grand espace que les autres. Il est évident d'après cela, que la condition la plus avantageuse pour séparer par le lavage deux substances de pesanteur spécifique différente, serait que la plus pesante fût en grains plus gros que la plus légère; malheureusement c'est une condition que l'on ne peut jamais remplir, d'autant plus que les substances les plus lourdes sont des minéraux métalliques dont la fragilité est presque toujours plus grande que celle des matières qui leur servent de gangues. Mais il est très important au moins de faire en sorte que les grains des diverses substances mélangées soient à peu près de la même grosseur, ce à quoi l'on parvient en tamisant très fréquemment.

Opération. — Rien de plus simple qu'un lavage, mais il faut quelque habitude pour l'exécuter avec succès, c'est-à-dire de manière à perdre le moins possible de la substance que l'on veut conserver, et à l'avoir bien pure. On place sur le haut d'une planche creusée en forme de

conque allongée, et que l'on nomme *augette* (Fig. 21), la masse de poussière à laver, ou la *lavée ;* masse qui doit être d'autant moins volumineuse que la matière est plus difficile à laver, et l'on dirige dessus un courant d'eau continu qu'on fait écouler d'un vase par un tube creux d'un calibre convenable. Pour obtenir ce courant, il est commode d'avoir à côté d'un des éviers du laboratoire un tonneau fixé à une certaine hauteur et muni d'un robinet (Fig. 22). On fait varier le volume du filet d'eau en tournant le robinet, ou en y adaptant, à l'aide d'un bouchon de liége, des tubes de verre de diamètres différens. A défaut d'un tonneau, on peut se servir d'une large terrine que l'on place sur une planche, et dans laquelle on introduit des siphons en verre de calibre variés (Fig. 23).

Courant d'eau.

Tonneau à robinet.

Terrine.

On délaie la poussière et on la remue avec les doigts, tant que l'eau sort trouble, si elle n'a pas été préalablement soumise à la lévigation; puis on l'étend sur la partie supérieure de l'augette, de manière à ce qu'elle en occupe environ le quart de la longueur. Le filet d'eau doit tomber un peu au-dessus de la lavée; alors, tenant fermement la partie supérieure de l'augette avec la main gauche, et soutenant la partie inférieure avec la main droite, on lui imprime de fréquentes secousses dans le sens de son axe longitudinal. A chaque secousse, toutes les particules de la lavée sont mises en suspension, le liquide en mouvement les entraîne toutes; mais elles retombent à des distances différentes, les plus lourdes ne parcourant qu'un très petit espace. Aussi voit-on presque aussitôt la lavée présenter une surface tout-à-fait hétérogène : à la partie supérieure, la matière pesante se montre presque pure; la matière légère apparaît, au contraire, presque sans mélange à l'extrémité inférieure, et dans les parties intermédiaires le mélange est d'autant plus riche en matière pesante qu'il occupe une place plus élevée sur l'augette. Si l'on divisait la lavée en tranches horizontales, on verrait que la matière pesante s'accumule vers le fond, et la matière légère à la surface. Les choses étant en cet état, on fait osciller l'augette sur son axe, en

Délayage.

Lavage.

faisant en sorte que celui-ci reste immobile et dans une position un peu inclinée. De cette manière, la nappe d'eau qui coule sur la lavée agite la surface et entraîne toutes les parties légères qui s'y trouvent : celles-ci s'accumulent à l'extrémité inférieure de l'augette. On les fait tomber, avec le doigt, dans un vase placé au-dessous de l'augette. Après cela on remonte vers le haut de l'augette, la lavée qui descend sans cesse. Cette opération ne doit pas se faire au hasard, et en mêlant toutes les parties, mais en remontant chaque tranche séparément, en commençant par celles qui occupent la partie supérieure. On recommence ensuite à donner alternativement à l'augette des secousses dans le sens de l'axe et des mouvemens d'oscillation autour du même axe, etc. Lorsqu'il ne paraît presque plus de parties légères à la surface, on agite la lavée tout entière avec le doigt, ou en faisant tomber le filet d'eau successivement sur toutes ses parties; on l'étend sur l'augette, et l'on recommence le lavage, etc. Au commencement de l'opération, l'eau entraîne hors de l'augette des matières légères pures; plus tard ces matières entraînent avec elles une certaine quantité de matières pesantes, dont la proportion va sans cesse en croissant à mesure que l'opération avance; en sorte que vers la fin, on pourrait faire de grandes pertes, si l'on ne conduisait pas le lavage avec un soin minutieux. Il convient en général de recueillir séparément les matières qui tombent de l'augette, à partir d'une certaine époque, et de les soumettre à un nouveau lavage. Précaution.

Quand la lavée renferme plusieurs substances de densités différentes, ces substances sont entraînées par le courant d'eau à des époques différentes et dans l'ordre inverse de leur densité, en sorte qu'on peut les recueillir, du moins en partie, séparément. C'est ainsi que, quand on lave un mélange de galène, de pyrites de fer, de sulfate de baryte, de quarz, et de schiste argileux, cas qui se présente très souvent, le schiste argileux se sépare presqu'en totalité par lévigation; le quarz sort à peu près pur de l'augette, et le sulfate de baryte et les pyrites sont Produits successifs.

successivement entraînés, mélangés avec une certaine quantité de galène. Il est presque impossible de tirer parti des matières mélangées entraînées hors de l'augette, quand un lavage a été bien fait : cela se conçoit aisément, puisque alors les particules dont se composent ces mélanges sont dans une condition telle, qu'elles reçoivent toutes la même impulsion de l'eau, les plus lourdes compensant par leur petitesse la légèreté des moins denses. Tout ce qu'on peut faire en pareil cas est de les piler de nouveau, et de les passer à travers un tamis très fin, afin d'amener tous les grains à avoir la même grosseur; mais alors on produit une grande quantité de poussière ténue, qui est presque toute enlevée par la lévigation.

Gros grains. Quand la lavée est en repos sur l'augette, elle présente une surface unie sur laquelle coule la nappe d'eau sans l'entamer; mais si le tamisage a été mal fait, et s'il se trouve quelques grains un peu gros, ces grains font saillie çà et là, ils produisent des remous qui dérangent l'uniformité de la lavée, et donnent naissance à des rigoles le long desquelles une partie de la matière est entraînée; et, en définitive, les gros grains recevant sans cesse l'impulsion de l'eau, finissent par être entraînés eux-mêmes : s'il s'en présente par mégarde, il faut donc se hâter de les enlever avec une pince.

Lavage après grillage. — Quelquefois deux substances, qui dans leur état naturel ne pourraient être séparées l'une de l'autre par le lavage, peuvent l'être après qu'elles ont été grillées : dans ce cas l'une d'elles perd une partie de ses principes, et devient par là beaucoup plus légère, et l'autre n'éprouve pas d'altération. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour les mélanges d'oxide d'étain et de matières pyriteuses, substances dont la pesanteur spécifique diffère peu : par le grillage les pyrites perdent leur soufre et de l'arsenic quand elles en renferment, et elles augmentent en même temps de volume, et deviennent beaucoup plus légères; il arrive même, de plus, qu'elles deviennent beaucoup plus fragiles, et qu'elles se divisent par conséquent facilement en molécules très pe-

tites sous le pilon; toutes circonstances qui favorisent la séparation par le lavage.

ARTICLE VI. — *Porphyrisation.*

La pulvérisation et le tamisage, même à travers les tamis les plus serrés, ne réduisent pas une substance en grains assez fins pour qu'elle puisse toujours être immédiatement soumise aux opérations chimiques : quand cette substance est très difficilement attaquable par les agens avec lesquels on doit la mettre en contact, il est nécessaire de l'amener à un état de ténuité extrême, et tel qu'en frottant sa poussière entre les doigts, on ne ressente pas l'impression des grains, et qu'elle paraisse douce au toucher comme de la farine : de cette manière on multiplie beaucoup les surfaces, et chaque grain peut être attaqué jusqu'au centre, lors même qu'il ne se forme que des combinaisons infusibles. C'est ce qu'il faudrait faire, par exemple, pour obtenir un métal avec un oxide irréductible par cémentation, et le métal étant infusible. L'opération par laquelle on réduit une substance en poudre impalpable se nomme *porphyrisation*, parce que le plus souvent on l'effectue dans des vases de porphyre. But.

Instrumens. — On porphyrise en broyant, pendant un temps suffisant, la matière pulvérisée et passée à travers un tamis très serré; on se sert pour cela de mortiers très évasés en porcelaine, en porphyre ou en agate (Fig. 7 et 8), ou de plaques plus ou moins grandes et bien dressées de même nature (Fig. 24). On porphyrise dans des mortiers, quand on n'opère que sur de petites quantités, et qu'on tient à ne rien perdre; le pilon est alors arrondi à ses extrémités, mais son rayon de courbure est moindre que celui du mortier. On porphyrise sur des plaques, lorsqu'on a de grandes masses à broyer; alors le pilon est large et plat; cette sorte de pilons portent le nom de *molettes* (Fig. 25). Mortiers. Porphyres. Molettes.

Opération. — On facilite beaucoup la porphyrisation en humectant la poudre avec une quantité d'eau suffisante pour en faire une pâte molle. Par ce moyen on em- Addition d'eau.

pêche la matière de se pelotonner, et d'envelopper les grains qui n'ont pas encore acquis le degré de finesse convenable. Quand la substance à porphyriser est extrêmement dure, on ne doit opérer que sur un demi-gramme, ou tout au plus sur un gramme à la fois. Pour l'obtenir au *maximum* de ténuité, on la délaie dans l'eau, et l'on porphyrise de nouveau les parties qui se déposent les premières au fond du vase. Les corps très durs usent sensiblement le porphyre et l'agate, en sorte qu'une certaine quantité de la matière du mortier se mêle à la poussière : lorsque l'on a besoin d'une exactitude très grande, on pèse le mortier avant et après la porphyrisation, et l'on a égard à la proportion de matière étrangère introduite dans la poussière; matière dont la nature a dû être déterminée exactement d'avance par l'analyse. Au reste, des précautions aussi minutieuses ne sont nécessaires que dans quelques cas d'analyse par voie humide : on n'a jamais besoin d'y avoir recours dans les essais par la voie sèche.

Masse à employer.

Pesée du mortier.

Nettoyage des mortiers, etc. — Il y a des substances qui par le frottement enduisent les corps durs, et surtout l'agate, d'une pellicule extrêmement mince qui y adhère très fortement; de ce nombre sont les métaux ductiles, certains oxides mous, etc.; pour détacher cette pellicule, il faut broyer dans le mortier, avec un peu d'eau, du sable quarzeux à grains fins et anguleux, et bien laver ensuite. Il est souvent même plus court et plus facile d'avoir recours à l'action des dissolvans chimiques, tels que l'acide muriatique ou l'eau régale; mais dans ce cas il est essentiel de laver le mortier à très grande eau, et de l'essuyer avec le plus grand soin.

Sable.

Acides.

SECTION II.

Opérations chimiques.

ARTICLE PREMIER. — *Calcination.*

Définition.

Autrefois *calciner* signifiait *changer en chaux*, c'est-à-dire oxider une substance métallique par le contact de

l'air; mais l'acception de ce mot a totalement changé. L'opération que l'on appelle maintenant *calcination* a pour objet soit de séparer d'une substance minérale une substance volatile quelconque, par l'effet seul de la chaleur et sans le concours de l'air; soit de lui faire éprouver des changemens brusques de température, pour la rendre plus fragile; soit enfin de lui donner plus de cohésion, et de la rendre moins facilement attaquable par les agens chimiques. On calcine pour en séparer l'eau, les hydrates de fer, de zinc, et tous les minéraux dont les gangues contiennent de l'argile; pour en séparer l'acide carbonique, les carbonates de chaux, de fer, de manganèse, de zinc, de plomb; pour en séparer à la fois l'eau et l'acide carbonique, les hydrocarbonates de zinc, de fer, etc.; pour en expulser une partie de l'oxigène, et amener le minéral à un degré d'oxidation fixe et connu, les oxides de manganèse, de cobalt, etc., et les minéraux qui en sont mélangés; pour en séparer une portion du soufre et de l'arsenic, plusieurs sulfures et arséniosulfures; mais dans ce cas il y a presque toujours fusion; enfin, on calcine pour expulser du bitume, etc., les houilles et tous les combustibles minéraux, et les minerais de fer carbonaté des houillères. On calcine pour les *étonner* et les rendre fragiles, le quarz et toutes les pierres très dures; dans ce cas, après les avoir fait chauffer jusqu'au blanc, on les projette brusquement dans une grande masse d'eau froide; on les chauffe de nouveau étant encore tout humides, et on les projette une seconde fois dans l'eau. On calcine, pour leur faire prendre de la cohésion et les rendre moins attaquables par les réactifs, les argiles, l'écume de mer, plusieurs autres hydrosilicates, et un grand nombre d'hydrates. Les hydrates perdent leur eau à une température peu élevée, et laissent des oxides qui se prêtent beaucoup moins facilement aux combinaisons que les hydrates eux-mêmes; mais en outre on a remarqué que lorsqu'on chauffe à un certain degré certains oxides, tels que les oxides de titane, d'étain, d'alumine, etc., et beaucoup d'autres corps, ils perdent la

faculté de se combiner avec les dissolvans ordinaires, et ne peuvent plus être attaqués que par les agens chimiques les plus puissans, et seulement à l'aide de la chaleur : ils deviennent alors ce qu'on appelle *indifférens*. Plusieurs corps, au moment où ils passent à l'état d'indifférence, s'échauffent d'eux-mêmes tout-à-coup jusqu'à l'incandescence. Il est probable qu'à cet instant les molécules prennent, les unes par rapport aux autres, un nouvel arrangement.

Creusets. On opère la calcination dans des vases cylindriques qu'on appelle *creusets* (Pl. II, Fig, 1 et 2). Ces vases sont en métal ou en terre : on se sert cependant rarement de ces derniers, parce que leur surface intérieure n'est pas assez lisse. Les creusets de métal sont en argent ou en platine. Les creusets d'argent ne peuvent être employés que lorsque la calcination n'exige pas une température plus haute que la chaleur rouge ; c'est donc presque toujours dans des creusets de platine que l'on calcine : on n'en emploie d'autres que lorsque ce métal est attaquable par la matière qu'il s'agit de soumettre à l'action de la chaleur. Ces creusets sont munis de couvercles qui peuvent les fermer exactement, mais non hermétiquement (Fig. 1 et 2), et l'on doit avoir en outre une spatule de même métal (Fig. 3), pour remuer la matière lorsque cela est nécessaire.

Couvercles.

Spatule.

Quand la calcination est faite, on enlève le creuset du feu, on le laisse refroidir, on en retire le résidu en grattant avec la spatule, et essuyant avec une barbe de plume, et l'on pèse ; par différence, on a le poids de la substance volatilisée. Si la matière à calciner est fusible, ou si elle est susceptible d'adhérer au creuset, il faut peser celui-ci avant et après l'opération, pour apprécier la perte par différence de poids. Lorsqu'on calcine un corps qui décrépite par la chaleur, pour éviter les pertes, il convient de le réduire préalablement en poudre, et de ne le chauffer que lentement et graduellement dans un creuset bien couvert. Il y a des substances qui peuvent être altérées par les vapeurs combustibles émanées du

foyer, comme, par exemple, le carbonate de plomb, qui peut être réduit en partie; ou par l'air atmosphérique qui les brûle, comme les matières charbonneuses, etc. Dans ces différens cas, pour éviter tout contact de ces vapeurs ou de l'air, on place la substance dans un creuset muni de son couvercle, et l'on met ce creuset dans un autre creuset un peu plus grand et également bien couvert. Lorsque, dans quelques cas rares, ces précautions ne sont pas suffisantes, on calcine dans des cornues de terre ou de verre des plus petites dimensions possible, pesées à l'avance, et que l'on casse ensuite pour en extraire la substance calcinée.

Double creuset.

Quelquefois encore on peut calciner dans des creusets brasqués de charbon, à une température moyenne, ou même à une très haute température; la matière n'adhère jamais à la brasque, et lorsqu'elle est fusible, ou même lorsqu'elle s'agglomère fortement, on peut la recueillir sans en rien perdre. (*V.* page 79, ce qui est relatif aux creusets brasqués.) On calcine, par exemple, dans un creuset brasqué, des oxides de manganèse à la température de 25 à 30° p., pour les amener à l'état de protoxide; du cobalt gris et autres arsénio-sulfures, à 150° p., pour en expulser la plus forte proportion possible de soufre et d'arsenic; un fluosilicate terreux, pour en dégager tout ce qu'il peut perdre de fluor, de silicium, etc.

Creusets brasqués.

On chauffe les vases qui contiennent les matières à calciner, dans des fourneaux à vent ordinaires qui peuvent donner jusqu'à 60° p. de chaleur, ou dans des fourneaux d'essai, quand on a besoin d'une température plus élevée. Lorsqu'on n'opère que sur de très petites quantités, on peut chauffer à la lampe à double courant, mais seulement dans le cas où une forte chaleur n'est pas nécessaire.

Fourneaux.

ARTICLE II. — *Grillage.*

On nomme *grillage* une opération dans laquelle on chauffe un corps avec le contact de l'air, soit pour l'oxider, soit, et le plus souvent, pour en séparer à l'état de gaz, par le concours de la chaleur et de l'oxigène

Définition.

atmosphérique, des substances que le calorique seul ne pourrait pas en dégager. Ces substances sont : le carbone, le soufre, le sélénium, l'arsenic, l'antimoine, et quelquefois le chlore. Un grillage dans lequel il y a fusion, s'appelle *scorification* ou *coupellation;* nous nous occuperons plus tard de ces deux genres d'opérations. Le grillage des matières charbonneuses prend le nom de *combustion* ou *incinération*, parce qu'il a presque toujours pour objet de brûler un combustible pour en recueillir les cendres.

Objet. On grille pour oxider, le fer et ses oxides inférieurs, afin de les amener au *maximum* d'oxidation, etc.

On grille pour en séparer, du moins en partie, le soufre, le sélénium, l'arsenic et l'antimoine, les sulfures, séléniures, arsénio-sulfures, etc., naturels, et ceux qui proviennent des travaux métallurgiques. On grille quelques chlorures pour les transformer en oxides.

Opération. Pour griller une substance quelconque, on la réduit en poudre fine, on la met dans un vase en terre rond et Têt à rôtir. plat, que l'on nomme *têt à rôtir* (Fig. 4, 5 et 6), et l'on chauffe celui-ci, soit dans un fourneau à calciner or- Fourneau. dinaire, soit sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Lorsqu'on se sert d'un fourneau de calcination, on place le têt à rôtir à une certaine hauteur au-dessus de la grille, et de manière à ce qu'il affleure à peu près avec Fromage. les bords du fourneau, en le posant soit sur un fromage en terre (Fig. 4), soit sur des barres de fer transver- Chevrette. sales (Fig. 5), soit sur une chevrette (Fig. 6), et on l'entoure de charbon, mais de telle sorte que l'air ait toujours un facile accès dans l'intérieur du vase. La moufle est infiniment plus commode que les fourneaux de calcination pour faire des grillages, premièrement, parce qu'il n'y entre que de l'air sans mélange de vapeurs combustibles; secondement, parce qu'en enfonçant plus ou moins le têt dans le fourneau, on l'expose à volonté à une température plus ou moins élevée; et enfin, parce qu'on n'est pas exposé à ce que la matière se mélange accidentellement de cendres ou de fragmens de charbon.

Le grillage ne pouvant s'exécuter qu'en mettant successivement toutes les molécules du minéral en contact avec l'air atmosphérique, il est essentiel de le remuer fréquemment et d'empêcher qu'il éprouve un commencement de fusion, ou se pelotonne en petites masses. On conçoit effectivement que ces petites masses ne se grilleraient qu'à la surface, et que leur intérieur resterait sans altération; la fusion, ou même le ramollissement aurait aussi l'inconvénient de faire adhérer une partie de la matière au têt et d'occasioner par conséquent une perte qui pourrait être considérable. On se sert pour agiter les substances que l'on grille ou que l'on incinère, d'un crochet de fer emmanché dans du bois, et que l'on a soin de tenir bien décapé; dans les expériences très soignées, on emploie un crochet de fil de platine ou bien une spatule de même métal, que l'on tient à l'extrémité d'une pincette. Précautions. Crochet.

Lorsque l'on peut craindre que la matière que l'on a à griller ne décrépite, pour éviter toute perte par projection de la poussière, on recouvre le têt d'un autre têt percé d'un petit trou; on chauffe graduellement, et l'on n'enlève le couvercle que quand la décrépitation a complètement cessé. Couvercle.

Lorsque dans un grillage on n'a pas pu éviter l'agglomération de la matière, on la retire du têt, on la porphyrise exactement dans un mortier d'agate, et on la soumet de nouveau au grillage dans le têt qui a déjà servi. Si le même accident se renouvelle plus tard, on porphyrise encore, et l'on recommence le grillage, et l'on réitère ces opérations jusqu'à ce qu'il ne s'exhale plus de la matière aucune vapeur. Mais on conçoit qu'il est impossible d'éviter que la répétition de ces manœuvres n'occasione des pertes; il faut donc les multiplier le moins que l'on peut, et mieux encore tâcher de faire en sorte de n'être pas obligé d'avoir recours à la porphyrisation. Agglomérations.

La plupart des substances que l'on grille pour en séparer le soufre, le sélénium ou l'arsenic, sont très fu- Température.

sibles par elles-mêmes; mais elles le deviennent de moins en moins à mesure que le grillage avance; il faut donc généralement ménager beaucoup la chaleur dans le commencement de l'opération, d'autant plus que les premières portions du soufre, etc., se dégagent toujours avec une très grande facilité. On doit, en général, griller à la plus basse température possible, et n'élever la chaleur que lorsque tout dégagement de vapeur à une température plus basse cesse d'avoir lieu.

Addition de charbon.

On a coutume de prescrire d'ajouter une certaine quantité de charbon en poudre à la matière que l'on grille, lorsqu'il ne s'en dégage plus de vapeurs; de chauffer ensuite fortement pendant quelques instans sans agiter, puis de recommencer le grillage et de renouveler attentivement ces deux opérations, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus rien. C'est ainsi, en effet, qu'il convient de conduire le grillage des arséniures et des arsénio-sulfures; mais l'addition du charbon est inutile et souvent nuisible dans le grillage des sulfures. Lorsque l'on grille un arséniure, il se dégage une grande quantité d'acide arsénieux, et il se forme en même temps un arséniate. Les arséniates étant indécomposables par la chaleur, dès qu'après avoir graduellement élevé la température, il ne se manifeste plus de vapeurs arsénicales, il serait superflu de continuer le grillage; mais si à ce moment on mélange bien la matière avec du charbon en poudre, et si l'on chauffe, celui-ci réagit sur l'arséniate et le réduit en arséniure; or, comme dans cette réduction il se volatilise toujours une certaine proportion d'arsenic, on se débarrasse par là d'autant de cette substance : en outre, en recommençant le grillage, l'arséniure régénéré fournit encore de l'acide arsénieux qui se dégage, et l'on conçoit ainsi que chaque addition de charbon et chaque grillage subséquent doivent déterminer la vaporisation d'une certaine dose d'arsenic; cependant ces effets ont une limite, parce que l'arséniure devient de plus en plus basique à mesure que le grillage avance, et qu'arrivé à un certain terme de saturation, il ne perd presque plus d'arsenic en se ré-

Pour les arséniures.

duisant. L'expérience prouve qu'il est impossible de changer par le grillage un arséniure en oxide parfaitement pur, et qu'il y reste toujours une certaine proportion très notable d'acide arsénique. L'addition du charbon dans le grillage d'un arséniure ne doit se faire qu'au moment où l'action de l'oxigène ne peut plus produire aucun dégagement de vapeurs, afin que la matière grillée contenant un grand excès d'oxide, ne puisse pas se réduire en arséniure fusible : si cet oxide était facilement réductible, et si le métal était très fusible, il vaudrait même mieux renoncer à ajouter du charbon dans le grillage.

Pour les sulfures.

Dans le grillage d'un sulfure, il se dégage du gaz acide sulfureux et il se forme un sulfate; mais, d'une part, tous les sulfates métalliques, excepté le sulfate de plomb, sont décomposables par la chaleur blanche; et, d'un autre côté, ils réagissent tous sur leur sulfure, avec formation d'oxide métallique et dégagement d'acide sulfureux; l'addition du charbon est donc superflue pour les décomposer. Si, lorsque le grillage d'un sulfure est déjà avancé, mais non complet, on chauffe un peu fortement, en couvrant le têt avec un autre têt renversé, et enveloppant le tout de charbon allumé, il se dégage de l'acide sulfureux en abondance, provenant de la réaction du sulfate formé et du sulfure non décomposé : s'il ne reste plus de sulfure, en chauffant suffisamment, le sulfate se décompose par l'effet seul de la chaleur. Dans ce cas, pour faciliter la décomposition, il pourrait être avantageux d'ajouter non pas du charbon, mais une certaine quantité de carbonate d'ammoniaque concassé en petits morceaux; alors l'acide sulfurique se dégagerait en combinaison avec l'ammoniaque. On ne peut pas calciner après grillage un sulfure qui renferme un métal dont l'oxide est très fusible, par exemple la galène. L'addition du charbon serait nuisible aussi dans le grillage de cette sorte de sulfure, parce qu'il se formerait des sous-sulfures fusibles qui adhéreraient au têt : aussi est-il impossible de séparer complètement par le grillage le soufre d'un sulfure qui contient du plomb au nombre de ses élémens.

Température. Il y a des sulfures, comme le sulfure d'antimoine, qui ne peuvent être grillés qu'à une température constamment ménagée depuis le commencement jusqu'à la fin, parce qu'ils sont très fusibles, volatiles, et que les oxides qui résultent de leur grillage le sont également; mais il en est d'autres que l'on peut au contraire chauffer fortement dès le commencement, parce qu'ils sont infusibles et fixes : telle est la blende; enfin, il y en a qui, comme le sulfure de molybdène, étant infusibles et fixes, mais se transformant en un oxide volatile, peuvent être chauffés brusquement d'abord, mais qui exigent que l'on modère la chaleur au bout de quelque temps.

Têts à rôtir. Les têts à rôtir ne devant jamais supporter une très forte chaleur, il n'est pas nécessaire qu'ils soient fabriqués avec une argile réfractaire; mais il faut qu'ils puissent supporter tous les changemens brusques de température sans se briser; et pour qu'on puisse en enlever exactement toute la matière grillée, il faut en même temps qu'ils soient très lisses dans leur intérieur, et par conséquent d'un grain très fin; enfin leur dureté doit être assez grande pour qu'ils ne puissent pas être entamés par les crochets qui servent à agiter la matière pendant le grillage.

On fait les têts à rôtir avec de l'argile, comme les creusets (*Voy.* page 63), et on leur donne la forme convenable, soit à la main, soit à l'aide de moules semblables à ceux qui servent pour fabriquer les coupelles. Pour qu'ils ne soient pas sujets à se fendre par les alternatives de température, on mêle à l'argile crue une certaine proportion d'argile cuite concassée ou de sable quarzeux, et on les fait sécher graduellement et très lentement avant de les faire cuire; il est bon aussi de mouiller la pâte le moins possible, mais suffisamment cependant pour qu'elle soit bien liante. Lorsqu'on façonne les têts par le moulage, après qu'on a garni le moule intérieur avec de la pâte, on la saupoudre avec de la poussière de charbon, ou, ce qui vaux mieux, avec de l'argile sèche, passée à travers un tamis de soie très fin; par ce moyen le moule intérieur n'adhère pas

au têt, et celui-ci se trouvant enduit d'une substance fine, présente une surface très lisse après qu'il a été cuit.

Têts vernissés.

On trouve dans le commerce des têts à rôtir dont la surface intérieure est couverte d'un vernis vitreux comme les poteries communes. Quand ce vernis est appliqué en couche mince et qu'il est peu fusible, ces sortes de têts sont très bons; mais souvent le vernis contient des oxides métalliques qui le rendent très fusible, de la litharge par exemple, et il s'en forme çà et là des amas épais sur sa surface : dans ces deux cas les têts sont défectueux, parce que, quand ce vernis est très fusible, il se ramollit au feu du grillage, et la matière pulvérulente y adhère; et quand le vernis n'est pas en couche très mince, il se fendille, laisse pénétrer les parties les plus fines de la poudre dans les fissures, et que souvent même il produit des éclats qui se mêlent avec la matière grillée.

Capsules de porcelaine.

On peut se servir de petites capsules hémisphériques de porcelaine (Fig. 7 et 7 *bis*) pour faire les grillages, surtout quand on opère sous la moufle; mais il faut les chauffer et les faire refroidir avec une extrême précaution, parce qu'elles cassent très facilement par les changemens brusques de température.

Capsules de platine.

On emploie aussi de petites capsules de platine (Fig. 8) pour faire certains grillages; elles sont extrêmement commodes; mais il n'est pas possible d'en faire usage pour griller les arséniures ni les matières qui renferment du plomb ou de l'antimoine, parce que ces substances attaquent aisément le platine, le rendent cassant et peuvent même le faire fondre; cependant on peut y griller sans inconvénient les sulfures de fer, de cuivre, de zinc, de molybdène, et elles sont surtout très propres à servir pour incinérer les combustibles qui ne laissent que de faibles résidus, quand on tient à doser les cendres avec une grande exactitude.

ARTICLE III. — *Réduction.*

Définition.

La réduction est une opération par laquelle on enlève l'oxigène à un oxide ou à une combinaison oxidée

quelconque. On l'effectue en chauffant à une température plus ou moins élevée, le corps à réduire, avec du charbon ou avec du gaz hydrogène, ou avec un composé combustible qui renferme l'un ou l'autre de ces élémens. (*Voy.* RÉDUCTIFS, article des *Réactifs.*) Dans quelques cas particuliers seulement, on se sert de métaux très oxidables pour réduire des oxides auxquels l'oxigène tient peu.

Opération. Quand la réduction se fait par le moyen du charbon ou des composés combustibles, les matières métalliques et la substance étrangère se fondent presque toujours. Quelquefois le métal ne se fond pas; alors on ne peut l'obtenir pur que si l'oxide est parfaitement pur lui-même. Dans tous les cas, on exécute l'opération comme une *fusion* proprement dite. (*Voy.* page 38.)

Par le charbon. La réduction par le charbon peut avoir lieu de deux manières : 1°. en mélangeant intimement ce combustible avec le corps à réduire; 2°. par voie de cémentation. Quand on suit le premier moyen, il faut nécessairement employer un excès de charbon, sans quoi il pourrait arriver que la réduction ne fût pas complète; or cet excès est souvent nuisible, principalement en s'opposant, par son interposition, à ce que le métal se réunisse en un seul culot. Le second moyen ne présente pas cet inconvénient, et il a d'ailleurs d'autres avantages qui doivent le faire préférer toutes les fois qu'il est pratiquable.

Quand on renferme dans un creuset brasqué de charbon un oxide métallique quelconque, en poudre ou en morceaux, et qu'on l'expose à une température suffisamment élevée, la réduction s'opère en commençant à la circonférence des masses, et en se propageant graduellement jusqu'au centre, par un effet analogue à celui qui a lieu dans la cémentation du fer pour le transformer en acier. Le temps qu'exige la réduction complète par cémentation dépend de la nature de l'oxide, de sa masse, et du degré d'élévation de la température : il est d'autant plus long que le métal tient plus à l'oxigène,

que la masse sur laquelle on opère est plus considérable, et que l'on chauffe moins fortement. Dans des temps égaux et à température égale, la cémentation pénètre à une profondeur très différente dans des masses égales d'oxides différens. Ainsi, tandis qu'à la chaleur rouge une masse d'oxide de nickel de 60 grammes est réduite en totalité en moins d'une demi-heure, une même masse d'oxide de manganèse n'est qu'amenée au *minimum* d'oxidation; à la chaleur de 150° p., 60 grammes d'oxide de manganèse se réduisent complètement en deux ou trois heures, tandis que l'oxide de chrôme, l'oxide de titane et l'oxide de cérium, se recouvrent à peine d'une pellicule métallique : il paraît même qu'il serait impossible de réduire complètement par cette voie un poids notable de ces trois derniers oxides.

Avec ou sans fusion.

La réduction par cémentation a lieu soit que le métal se fonde, soit qu'il ne se fonde pas; mais l'opération marche beaucoup plus vite dans le premier cas que dans le second, parce qu'à mesure que le métal entre en fusion, il se réunit en grosses grenailles que leur poids entraîne au fond du creuset, et que par là il se trouve toujours une certaine portion de l'oxide immédiatement en contact avec le charbon.

Avec corps étrangers.

Enfin, la réduction par cémentation s'effectue lors même que les matières étrangères qui peuvent se trouver mélangées avec l'oxide métallique forment entre elles une combinaison infusible. Dans ce cas, le métal réduit reste en grenailles ou en particules invisibles disséminées dans la scorie non fondue.

Cémentation incomplète.

Lorsque l'on n'a pas chauffé un oxide assez long-temps pour que sa réduction par cémentation ait pu être complète, on obtient une masse enveloppée d'une couche métallique grenue et sans éclat, plus ou moins épaisse, et occupée au centre par l'oxide ramené au plus bas degré d'oxidation qui puisse avoir lieu, et l'on remarque que le métal ne commence à se produire à la surface que quand l'oxide a été ramené en totalité à ce *minimum* d'oxidation. Ainsi, quand on cémente de l'oxide rouge

de fer, toute la masse se change d'abord en oxide des battitures, en passant par l'état d'oxide magnétique de la nature, et ensuite elle se recouvre d'une couche de fer métallique dont l'épaisseur s'accroît peu à peu.

Masses considérables.

Quand on veut réduire une masse considérable d'oxide, du poids de 500 grammes par exemple, on ne peut pas opérer par voie de cémentation, parce que cela exigerait un trop long temps. Dans ce cas, on calcule approximativement la quantité de charbon qui serait nécessaire pour former de l'acide carbonique avec l'oxigène; on mélange avec l'oxide une quantité de charbon un peu moindre que celle qui a été calculée, en ayant soin d'en mettre un peu plus au centre de la masse qu'à la surface, et l'on chauffe dans un creuset brasqué; alors le charbon mélangé et le charbon de la brasque agissent simultanément sur l'oxide, la réduction est prompte et complète, et l'on évite les inconvéniens qu'aurait pu produire l'emploi d'un excès de charbon (*).

Ce que nous venons de dire doit faire comprendre l'importance des services que rendent les creusets brasqués dans les essais par la voie sèche. A raïson de cette importance, nous entrerons dans les détails les plus cir-

---

(*) La combinaison par voie de cémentation est un phénomène général d'un grand intérêt, et qui mériterait d'attirer toute l'attention des chimistes philosophes. On ignore comment ce phénomène s'opère. On pourrait croire que l'oxigène est enlevé par les vapeurs combustibles qui émanent des foyers, et qui pénètrent à travers toutes les substances poreuses; mais il est facile de s'assurer qu'il ne peut en être ainsi, au moins quant à la réduction des oxides de fer. En effet, que l'on remplisse d'oxide rouge de fer un creuset au fond duquel on aura mis du charbon, ou, au contraire, que l'on place de l'oxide de fer dans un creuset, et qu'on le recouvre de charbon, ou enfin, que l'on introduise du charbon au centre d'une masse d'oxide de fer, et que l'on chauffe pendant une heure ou deux, et l'on trouvera qu'il ne s'est formé de fer métallique que dans la partie de la masse voisine du charbon, et qu'il n'y en a pas la plus petite trace à la surface du culot ni dans les autres parties, quoique ces parties se soient trouvées exposées comme toutes les autres à l'action des gaz combustibles qui se dégagent du foyer.

constanciés relativement à la préparation de ces creusets. (*Voy.* pages 38 et 63.)

Par le gaz hydrogène.

La réduction par le gaz hydrogène est rarement employée comme moyen d'essai; mais dans plusieurs cas il faut nécessairement y avoir recours, quand on veut obtenir un métal absolument exempt de carbone. Lorsqu'on opère sur de grandes masses, on met l'oxide dans un tube de porcelaine, que l'on chauffe au blanc dans un feu de charbon, et l'on fait passer un courant de gaz hydrogène à travers; mais quand on ne traite que de petites masses d'oxide, et que l'on veut déterminer la perte qu'il éprouve et le poids du métal qu'il produit, on effectue la réduction dans un appareil en verre fort et le moins fusible possible. Cet appareil (Fig. 9) consiste en un tube à boule, que l'on chauffe à l'aide d'une lampe à courant d'air, et qui est adapté à un tube cylindrique plein de chlorure de calcium, à travers lequel on fait passer le gaz hydrogène pour le dessécher; souvent même on place avant ce tube un autre tube muni de une ou deux boules, pour que le gaz y dépose d'abord la plus grande partie des vapeurs d'eau qu'il entraîne en sortant du vase qui le produit. On pèse le tube à boule, on introduit de l'oxide dans celle-ci, on nettoie les tubes avec une barbe de plume, puis on pèse de nouveau, et l'on a par différence le poids de l'oxide employé. On réunit les diverses parties de l'appareil avec de petits bouchons ou avec des tubes de caoutchou; on fait arriver le courant de gaz hydrogène, et quand on juge que tout l'air a été chassé par ce gaz, on chauffe graduellement la boule jusqu'à une forte chaleur rouge, en continuant à faire arriver du gaz tant qu'il se dégage de l'eau. Quand la réduction est complète, on retire la lampe, après avoir eu soin de bien sécher les tubes; on laisse refroidir le métal au milieu du gaz, et l'on pèse le tube une troisième fois, ce qui donne la perte en oxigène, etc. Si l'on ne chauffait pas assez fortement la boule, ou si l'on en retirait le métal avant qu'il fût tout-à-fait froid, celui-ci s'enflammerait spontanément

comme un pyrophore, et cela arrive même souvent, malgré ces précautions, surtout quand le métal se trouve mêle avec quelques substances étrangères, qui augmentent son état de division.

ARTICLE IV. — *Fusion.*

Objet. On fait fondre une substance minérale avec ou sans addition, 1°. pour déterminer approximativement son degré de fusibilité (un verre, un laitier, une scorie, un alliage, etc.); 2°. pour savoir quel aspect elle prend, et quelles sont ses propriétés, quand elle a été fondue et refroidie ensuite plus ou moins lentement (un verre coloré par le cobalt, le chrôme, le manganèse, etc., une scorie susceptible ou non de cristalliser, un alliage, pour examiner s'il est ductile ou non, etc.); 3°. pour rechercher si elle perd quelque chose de son poids, soit à cause de sa volatilité propre, soit parce qu'il s'en sépare un ou quelques-uns de ses élémens (les métaux purs volatiles, tels que le plomb et le cuivre, les arsénio-sulfures, etc.) : dans ce cas, l'opération est mixte, c'est en même temps une fusion et une calcination; 4°. pour la combiner avec une autre substance, la rendre par là plus attaquable par les réactifs, etc.; 5°. enfin, et c'est là le cas le plus fréquent, on fond une substance hétérogène, soit pour en extraire un métal ou un alliage, soit pour séparer une combinaison métallique d'une combinaison pierreuse : dans ce dernier cas on dit qu'on fait une *fonte crue;* quand, pour obtenir un métal ou un alliage, il faut désoxider, on dit qu'on fait une *réduction;* enfin quand on a pour but de séparer les métaux de leur sulfure, l'opération prend le nom de *désulfuration.*

§ 1er. — Des creusets.

Creusets. On opère la fusion dans des vases auxquels on donne le nom de *creusets,* et quelquefois dans des cornues; on chauffe ces creusets ou les cornues dans des fourneaux de diverses sortes, selon le degré de chaleur auquel on veut les exposer. (*Voy.* le chap. II.)

Les creusets sont le plus souvent en argile pure, mais on en emploie aussi qui sont faits d'argile mêlée de matières charbonneuses ou de charbon pur; tantôt ces creusets sont nus intérieurement, tantôt on les garnit d'une brasque en charbon; on se sert aussi quelquefois de creusets de fonte de fer, de fer doux et même de platine.

Fabrication.

La fabrication des creusets d'argile étant d'une grande importance, nous allons nous en occuper avec détail, et nous commencerons par faire connaître la nature et les propriétés des argiles.

Argiles.

Les argiles sont essentiellement composées de silice, d'alumine et d'eau; elles constituent plusieurs espèces et elles admettent en mélange un grand nombre de substances. Les argiles pures sont blanches, opaques, grenues à grains très fins, onctueuses au toucher; leur cassure est terreuse; elles sont tendres et prennent le poli sous l'ongle; elles happent fortement à la langue; leur pesanteur est d'environ 2,5; elles ont la propriété de se gonfler et de se délayer dans l'eau, et de former avec ce liquide des pâtes liantes et ductiles auxquelles on peut faire prendre toute sorte de formes; c'est là ce qu'on appelle leur propriété *plastique*. Les pâtes pétries entre les mains semblent aussi douces au toucher que de la pâte de farine; ce qui prouve que les grains dont elles se composent sont dans un état de ténuité extrême. Soumises au contact de l'air sec, elles abandonnent peu à peu l'eau qu'elles avaient absorbée, et elles n'en retiennent qu'une certaine proportion fixe qui leur est chimiquement combinée; en même temps elles prennent un retrait considérable, et se fendillent en tous sens si la dessiccation n'a pas lieu avec une extrême lenteur. Par la calcination à une chaleur graduée, les argiles abandonnent successivement diverses portions de leur eau de combinaison et se contractent de plus en plus sur elles-mêmes : quand elles sont en morceaux, ceux-ci acquièrent une cohésion et une dureté qui s'accroissent avec le temps; mais les argiles en poudre ne s'agglomèrent aucunement, quoique chaque grain devienne extrêmement dur et tenace. Au

rouge naissant, les argiles perdent la plus grande partie de leur eau de combinaison ; à la chaleur blanche elles n'en retiennent plus une quantité notable et elles deviennent assez dures pour faire feu avec le briquet ; mais elles n'atteignent pas par là leur *maximum* de contraction : le retrait qu'elles peuvent prendre paraît pouvoir s'accroître indéfiniment avec la température.

Fusibilité. Les argiles pures sont infusibles à la plus haute chaleur de nos fourneaux ; mais elles peuvent éprouver un commencement de ramollissement, puisque l'on remarque que les pots de verrerie et les creusets d'essai plient sous les pinces et se déforment sensiblement sans se briser ; d'ailleurs l'aspect lustré qu'elles prennent dans leur cassure, lorsqu'elles ont été chauffées aussi fortement que possible, et que l'on observe dans la poterie dite *cuite en grès*, est l'indice d'un premier degré de vitrification.

Action des acides. Les argiles humides ou simplement desséchées ne sont pas du tout attaquées par les acides faibles : les acides nitrique et muriatique concentrés et bouillans ne les attaquent que partiellement, et seulement lorsqu'elles renferment une grande proportion d'alumine. L'acide sulfurique concentré les attaque à peu près complètement au degré de son ébullition. Les argiles chauffées au rouge naissant seulement, sont aussi facilement attaquables par les acides et même souvent plus facilement attaquables que les argiles crues ; mais lorsqu'elles ont été calcinées à la chaleur blanche, les acides les plus forts n'ont plus absolument aucune action sur elles. La potasse caustique liquide n'attaque point les argiles crues ou cuites ; mais elle enlève aux argiles qui ont été préalablement traitées par un acide, une certaine quantité de silice qui est proportionnelle à la quantité d'alumine dissoute par l'acide ; ensorte que le résidu est identique par sa composition avec l'argile primitive. Par la voie sèche les alcalis caustiques et même leurs carbonates forment avec les argiles des silicates doubles, peu fusibles à la chaleur rouge, et d'autant moins fusibles qu'ils contiennent plus d'alumine :

Alcalis.

ces silicates sont insolubles dans l'eau, mais entièrement solubles dans les acides.

Les argiles paraissent avoir la propriété d'absorber d'autres substances que de l'eau, par exemple les huiles; c'est à cause de cela qu'on les emploie pour dégraisser; celles qui sont les plus propres à cet usage portent les noms d'*argiles smectiques* ou de *terres à foulon*. Pouvoir absorbant.

On a considéré les argiles tantôt comme des détritus de roches préexistantes, tantôt comme de simples mélanges de silice et d'alumine; mais il est hors de doute aujourd'hui que ce sont de véritables combinaisons chimiques de silice, d'alumine et d'eau, en proportions atomiques : ce qui le prouve, c'est qu'elles ne sont pas attaquables par les dissolutions alcalines, d'où il suit que l'alumine n'y est pas libre, et la silice à l'état gélatineux; et qu'après qu'elles ont été traitées par les acides, les alcalis dissolvent une partie de la silice, proportionnelle à la quantité d'alumine dissoute; ce qui n'aurait pas lieu si la silice s'y trouvait à l'état de quarz mélangé. L'ancienne supposition que les argiles sont des détritus de roches était fondée sur ce qu'elles ne sont que faiblement agrégées, et sur ce qu'elles sont presque toujours associées à des sables ou à des masses arénacées; mais comme il n'existe dans les formations anciennes aucune roche dont la composition soit identique avec la leur, cette supposition paraît être tout-à-fait gratuite. Composition.

Les argiles admettent en mélange mécanique ou en mélange intime un grand nombre de substances, savoir : les bitumes, le graphyte, le quarz, l'oxide de fer, l'hydrate de fer, les oxides de manganèse, le carbonate de chaux, les pyrites de fer, l'hydrosilicate de magnésie ou écume de mer, les silicates de fer, l'hydrate d'alumine, l'halloysite, etc. Il est rare que les argiles soient exemptes de bitume, elles ont le plus souvent une teinte grise ou brune qu'elles doivent à un mélange de ces substances; dans ce cas, quand on les calcine en morceaux, elles deviennent noires dans leur Mélanges. Argiles bitumineuses.

intérieur; mais par le grillage elles perdent tout-à-fait leur couleur. Il y a des argiles qui contiennent une quantité de bitume telle, qu'on les prendrait au premier aspect pour des combustibles. Les argiles mélangées de graphyte portent le nom de plombagine; on en fait d'excellens creusets : nous ferons connaître leur composition. Le sable quarzeux, en grains ordinairement très fins, se trouve presque toujours mélangé dans les argiles et souvent en proportion très considérable; on peut reconnaître sa présence et même le doser par des moyens mécaniques ou par des moyens chimiques. On s'aperçoit aisément de la présence du sable par la rudesse des grains en frottant entre les doigts l'argile réduite en pâte, et l'on peut séparer à peu près exactement ces grains de la pâte argileuse pure, au moyen d'une lévigation faite avec un très grand soin. On les dose chimiquement en traitant alternativement l'argile par l'acide sulfurique et par la potasse caustique liquide, jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus rien, parce qu'ils ne sont attaqués ni par l'un ni par l'autre de ces réactifs. L'oxide rouge de fer, et plus souvent encore son hydrate, sont si fréquemment mélangés dans les argiles, qu'il est extrêmement rare d'en rencontrer qui en soient absolument exemptes; les oxides de manganèse s'y montrent aussi, mais moins souvent. Les argiles fortement colorées en rouge par l'oxide de fer, ou en jaune par son hydrate, sont distinguées sous le nom d'*ocres*, d'*argiles figulines*, de *terres bolaires*, de *glaises*, etc. La présence des oxides de fer et de manganèse dans les argiles est extrêmement nuisible lorsqu'on veut employer celles-ci pour en fabriquer des creusets, parce qu'ils les rendent fusibles; ce n'est pas que les peroxides de fer et de manganèse soient par eux-mêmes des fondans, mais comme ils se transforment avec la plus grande facilité en protoxides au contact du charbon, et que ces derniers oxides forment des silicates très fusibles, il ne faut qu'une petite quantité de ces deux métaux pour donner à une argile le défaut de se ramollir à un certain degré de température. Les pyrites se trouvent dans quel-

Argiles graphytes ou plombagine.

Argiles sableuses.

Argiles ferrugineuses.

Argiles pyriteuses.

ques argiles, surtout dans celles qui sont très bitumineuses : on peut les séparer, pour la plus grande partie, par lévigation; leur présence est nuisible en ce qu'elles se transforment, au feu, en oxide de fer qui corrode toute la partie de l'argile qui l'entoure et peut même former des trous dans les creusets. Rien de plus commun que les argiles mélangées de carbonate de chaux : on les appelle *marnes*. Les marnes ne peuvent pas être employées pour fabriquer des creusets, parce que, par la cuisson, elles produisent des silicates doubles d'alumine et de chaux qui sont tous plus ou moins fusibles : il ne faut même qu'une très petite proportion de chaux pour rendre une argile ramollissable au feu; mais les marnes sont très précieuses pour la fabrication de la faïence, et l'on s'en sert aussi avec grand avantage dans l'agriculture, pour amender les terres froides ou trop sableuses. La *magnésite* ou *écume de mer* est un hydrosilicate de magnésie qui a la plus grande analogie avec l'argile par ses caractères et sa composition chimique; il n'est donc pas étonnant que ces deux substances se mélangent souvent l'une avec l'autre. La magnésite est compacte, tendre, sèche au toucher, à cassure grenue ou terreuse; elle se délaie facilement dans l'eau et forme avec ce liquide une pâte visqueuse, mais peu liante, et semblable à de la colle d'amidon. Elle abandonne toute son eau à la chaleur rouge, sans rien perdre de sa consistance. A une très haute température elle se ramollit considérablement; au chalumeau, elle se fond en émail blanc sur les bords; les acides forts l'attaquent aisément et en séparent la silice à l'état gélatineux. Les argiles qui renferment de l'écume de mer donnent des pâtes qui sont moins tenaces que les pâtes d'argiles pures, et en outre elles perdent leur propriété réfractaire, parce qu'à une chaleur élevée il se produit des silicates doubles d'alumine et de magnésie qui sont tous plus ou moins fusibles, et qui le sont même toujours plus que les silicates simples de magnésie. Les argiles verdâtres ou d'un vert grisâtre doivent leur couleur à un mélange de silicates de protoxide de fer : on conçoit que la présence de

Argiles calcaires.

Argiles magnésiennes.

cette substance doit les rendre fusibles, et par conséquent tout-à-fait impropres à la fabrication des creusets. L'hydrate d'alumine et les halloysites, qui sont des hydrosilicates d'alumine riches en alumine, et qui contiennent beaucoup d'eau, se trouvent quelquefois et probablement plus souvent qu'on ne le suppose, disséminées en particules invisibles dans les argiles. Leur présence ne donne aucune mauvaise qualité à ces substances; elle se décèle par la grande quantité d'eau que celles-ci perdent à la calcination, et par la grande proportion de matière qu'elles laissent dissoudre dans les acides ordinaires.

Gisement. On rencontre les argiles dans tous les terrains, depuis les grès houillers jusqu'aux alluvions les plus modernes; elles accompagnent tous les dépôts arénacés, et très souvent elles leur servent de pâte; elles se mêlent intimement aux pierres calcaires et se trouvent dans une multitude de lieux en bancs puissans et très étendus au milieu de ces roches; mais alors elles sont souvent mélangées elles-mêmes de carbonate de chaux, et constituent ce qu'on appelle les *marnes;* enfin, elles abondent dans les terrains tertiaires, principalement dans les premières assises, qui portent à cause de cela le nom de formation d'argile plastique. Nous allons, dans le tableau suivant, donner la composition des argiles les plus connues et les plus employées dans les Arts.

Composition.

	Antrangues. (1)	Strasbourg. (2)	Hayanges. (3)	Saint-Amand. (4)	Stourbridge. (5)	Cymolite. (6)	Cologne (7)
Silice.....	0,710	0,667	0,661	0,667	0,637	0,630	0,667
Alumine.....	0,190	0,182	0,198	0,216	0,207	0,230	0,240
Magnésie.....	.....	0,006	.....	.....	.....	.....	0,012
Oxide de fer...	.....	0,016	0,063	0,025	0,040	0,013	0,012
Eau.....	0,090	0,120	0,075	0,090	0,103	0,120	0,066
Sable.....	.....	0,015	.....	.....	.....	.....	0,003
	0,990	1,006	0,997	0,998	0,987	0,993	1,000

	Hoganas. (8)	Forges. (9)	Monte-reau. (10)	Le Monc-tet. (11)	Vauvres. (12)	La Bou-chade. (13)	Anden-nes. (14)
Silice.....	0,569	0,650	0,644	0,617	0,540	0,554	0,520
Alumine.....	0,219	0,240	0,246	0,247	0,250	0,264	0,270
Magnésie.....	0,006	.....	.....	.....	trace.	.....	.....
Oxide de fer...	0,034	trace.	trace.	0,022	0,060	0,042	0,020
Eau.....	0,174	0,110	0,100	0,100	0,140	0,120	0,190
	1,002	1,000	0,990	0,986	0,990	0,980	1,000

	Aveyron. (15)	Plaigues. (16)	Vire. (17)	Leyval. (18)	Argen-tières. (19)	Franc-fort. (20)	Nuze-joul. (21)
Silice.....	0,582	0,559	0,540	0,520	0,484	0,500	0,472
Alumine.....	0,280	0,268	0,300	0,316	0,300	0,327	0,324
Magnésie.....	.....	0,025	.....	.....	.....	0,015	....
Oxide de fer...	0,035	0,010	.....	0,044	0,022	.....	0,030
Eau.....	0,100	0,136	0,156	0,126	0,180	0,160	0,160
	0,997	0,989	0,996	1,006	0,986	1,002	0,986

	Saint-Aubin. (22)	Échas-sières. (23)	Abon-dant. (24)	Anglesr. (25)	Devon-shire. (26)	Hesse. (27)	
Silice.....	0,492	0,492	0,506	0,469	0,496	0,465	
Alumine.....	0,340	0,340	0,352	0,364	0,374	0,349	
Magnésie.....	.....	.....	.....	0,010	.....	.....	
Oxide de fer...	.....	.....	0,004	.....	.....	0,030	
Eau.....	0,164	0,164	0,131	0,148	0,112	0,152	
	0,996	0,996	0,993	0,991	0,982	0,996	

(1) *Argile d'Antragues*, près de Jemmapes en Belgique ; d'un blanc grisâtre, assez douce au toucher : réputée excellente pour faire les pots de verreries.

(2) *Terre à pipe de Strasbourg ;* grise, çà et là tachée de jaune, onctueuse au toucher : elle fait bien pâte avec l'eau.

(3) *Argile de Hayanges* (département de la Moselle), qu'on emploie pour faire des briques réfractaires ; elle est jaunâtre et mélangée d'une quantité notable de sable quarzeux, que l'on n'a pas dosée.

(4) *Argile de Saint-Amand* (département de la Nièvre); d'un gris foncé, çà et là tachée de jaune; on y distingue de petites paillettes de mica : elle fait partie d'un terrain de craie, et forme un banc horizontal puissant qui alterne avec de l'ocre jaune et avec du sable blanc : on en fait de la poterie commune, dite *cuite en grès*, d'excellente qualité.

(5) *Argile de Stourbridge*, en Angleterre; elle est grise et homogène : on l'emploie pour faire des pots de verreries et des creusets à fondre l'acier; elle passe pour être très réfractaire.

Ces cinq sortes d'argiles sont à peu près identiques; leur composition est exprimée par la formule $AS^4 + Aq$, qui donne :

Silice.....	0,702 — 0,783
Alumine.....	0,195 — 0,217
Eau.....	0,103

(6) *Cymolite* (Klaproth); d'un gris de perle ou rougeâtre, plus ou moins douce au toucher, se délayant facilement dans l'eau.

(7) *Terre à pipe des environs de Cologne;* blanche, très douce au toucher; elle accompagne un dépôt de lignite qui fait partie d'un terrain tertiaire.

(8) *Argile d'Hæganas*, en Suède (M. Karsten); schisteuse, devient d'un gris clair par la calcination; elle provient d'un terrain houiller; elle passe pour être très réfractaire.

(9) *Argile de Forges* (département de la Seine-Inférieure); d'un gris clair, devient blanche par la calcination; de formation tertiaire : elle est excellente pour faire des pots de verreries.

(10) *Argile de la Colonne*, près de Montereau (département de Seine-et-Marne); d'un blanc un peu blond ou d'un gris clair; elle est mélangée de sable quarzeux, qu'on en a séparé autant que possible par lévigation avant d'en faire l'analyse : elle alimente plusieurs fabriques de faïence dite *anglaise*.

La composition des argiles (6), (7), (8), (9) et (10),

se rapproche beaucoup de celle qui est exprimée par la formule $AS^3 + Aq$. Voici cette composition :

Silice.....	0,639 — 0,730
Alumine.....	0,216 — 0,270
Eau.....	0,125

Cependant dans l'argile de Cologne il paraît qu'il n'y a que $\frac{1}{2}$ Aq, et l'on pourrait au contraire en supposer $1\frac{1}{2}$ dans l'argile de Hœganas.

(11) *Argile du Montet*, près du Creusot (département de Saône-et-Loire); d'un blanc un peu grisâtre, à grains assez fins : on en fait d'excellentes briques réfractaires, pour la construction des cheminées des hauts-fourneaux.

(12) *Argile de Vanvres*, près de Paris; grise, elle devient rougeâtre par la calcination; de formation tertiaire : on en fait des fourneaux de laboratoire, de cuisine, etc.

(13) *Argile de la Bouchade*, près de Montluçon (département de l'Allier); d'un blanc jaunâtre sale : on l'emploie dans la verrerie à bouteilles de Souvigny, pour faire les pots, que l'on trouve très bons.

(14) *Argile d'Andennes*, près de Namur (en Belgique); grise, très douce au toucher : on s'en sert de préférence à celle d'Antragues pour faire les creusets dans lesquels on prépare le laiton.

(15) *Argile de Clarac* (département de l'Aveyron); grise, çà et là tachée de rouge : on dit qu'elle fait partie d'un terrain houiller.

(16) *Argile de Plaignes*, entre Nemours et Moret (département de Seine-et-Marne); d'un blanc un peu blond; elle se trouve en amas dans un banc de silex et de poudings qui fait la base du terrain tertiaire parisien près de Nemours.

(17) *Argile de Vire* (département du Calvados), dite *terre à foulon de Normandie*, parce qu'on l'emploie dans tout l'ouest de la France pour foulonner les draps; elle est d'un gris cendré foncé et devient blanche par calcination; elle ne contient qu'une très petite quantité de sable quartzeux.

Il y a dans les argiles (11), (12), (13), (14), (15)

(16) et (17) un peu moins de silice que dans le silicate AS^2, qui contient

Silice..... 0,643
Alumine..... 0,357

et l'eau de combinaison s'y trouve dans une proportion telle, qu'elle renferme la moitié ou les trois quarts de l'oxigène de l'alumine. Il est probable que l'argile d'Andennes (14) est mélangée d'halloysite.

(18) *Argile de Leyval* (département de la Charente-Inférieure); blanche, un peu marbrée de rouge : elle est très bonne pour faire des pots de verreries; elle contient un peu moins de silice que le silicate AS^4.

(19) *Argile de l'Argentières* (département de l'Indre); très blanche.

(20) *Argile des environs de Francfort-sur-le-Mein;* d'un gris clair homogène : on s'en sert pour faire de l'alun.

(21) *Argile de Nuzejoul* (département du Lot); d'un blond pâle : on l'emploie dans le Midi pour faire des pots de verreries.

(22) *Argile de Saint-Aubin-les-Foux* (département de la Seine-Inférieure), dite *terre à Suédois*, parce qu'on en exporte en Suède, où l'on s'en sert pour faire des creusets à laiton; elle est d'un brun-rouge quand elle est humide, et couleur chocolat lorsqu'elle est sèche; mais elle devient parfaitement blanche par la calcination; elle est colorée par une matière bitumineuse.

(23) *Argile d'Echassières*, près de Montmarant (département de l'Allier); elle est blanche : on l'emploie pour faire les pots qui servent à la fusion des minerais d'antimoine.

(24) *Argile d'Abondant*, près de Dreux (département d'Eure-et-Loir); d'un gris clair : c'est avec cette argile qu'on fait les gazettes à porcelaine dans la manufacture de Sèvres.

La composition des argiles (18), (19), (20), (21), (22), (23) et (24) approche beaucoup de celle que représente la formule $A^6S^{10} + Aq^5$, qui donne :

Silice.....	0,504	— 0,59
Alumine.....	0,350	— 0,41
Eau.....	0,146	

ou de celle que représente la formule $A^6S^{10} + Aq^6$, qui donne :

Silice.....	0,490	— 0,59
Alumine.....	0,340	— 0,41
Eau.....	0,170	

ces formules sont équivalentes, la première à $5AS^2 + AAq^5$, et la seconde à $5AS^2 + AAq^6$; on peut supposer aussi qu'une partie de l'eau est combinée avec le bisilicate, et l'autre partie avec l'excès d'alumine ; alors la dernière formule équivaudrait à celle-ci, qui est très simple : $5(AS^2 + Aq) + AAq$, et qui se rapporte aux espèces que nous avons nommées *halloysites*. (*Voy.* page 57.)

(25) *Argile d'Angleur*, près de Liége (Belgique) ; très blanche ; elle accompagne l'halloysite ; sa composition est exprimée par la formule $A^3S^4 + 2Aq$, ou $2AS^2 + AAq^2$, qui donne :

Silice.....	0,459	— 0,545
Alumine.....	0,383	— 0,455
Eau.....	0,158	

(26) *Argile de Devonshire* (Angleterre), réputée très réfractaire ; d'un blanc grisâtre ; se décolore par la calcination.

(27) *Argile de Hesse* (Allemagne), qui sert à faire les creusets qui portent ce nom ; grise, devient d'un rouge pâle par la calcination.

Les argiles (26) et (27) contiennent un peu plus d'alumine que le silicate A^3S^5, et un peu moins que le silicate A^3S^4.

Voici quelques exemples de composition d'argiles très mélangées de substances étrangères. Argiles très mélangées.

	Cendres de Reims. (1)	Plombagine. (2)	Livernon (3)	Souillac. (4)	OCRE JAUNE. Pourain. (5)	Saint-George. (6)	Saint-Amand. (7)
Silice.....	0,740	0,412	0,490	0,410	0,800	0,695	0,744
Alumine....		0,147	0,240	0,286			
Magnésie....	.....	0,010	.....	.....	.....	.....	.....
Chaux.....	.....	.....	0,020	.....	.....	.....	.....
Oxide de fer.	.....	0,082	0,062	0,123	0,120	0,235	0,266
Hydrate de fer	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Pyrites.....	0,030	trace.	.....	.....	.....	.....	.....
Charbon. ...	.....	0,339	.....	.....	.....	.....	.....
Eau et bitume	0,230	0,010	0,180	0,169	0,076	0,070	0,090
	1,000	1,000	0,992	0,988	0,996	1,000	1,000

(1) *Argile bitumineuse*, dite *cendre de Reims* (département de la Marne); elle accompagne des lignites, et on l'emploie pour engrais; elle est compacte, tendre et facile à écraser, d'un brun chocolat clair; par calcination en vase clos, elle devient noire; elle s'incinère sans combustion apparente, et prend une couleur rouge briqueté. La potasse caustique bouillante la décolore presque complètement en dissolvant la matière bitumineuse : cette matière entre dans l'argile pour 0,12 environ.

(2) *Plombagine de Passau* (en Bavière) : on en fait des creusets qui jouissent d'une grande réputation; l'échantillon analysé avait été légèrement calciné. Cette substance est un mélange d'argile un peu ferrugineuse et d'anthracite métalloïde; elle ne donne pas la moindre trace de matières bitumineuses à la distillation; il est extrêmement difficile de l'incinérer complètement.

(3) *Argile de Livernon*, près de Figeac (département du Lot); rouge, d'apparence homogène; elle se trouve en amas sur un plateau calcaire; c'est pourquoi elle est mélangée d'un peu de carbonate de chaux : on en fait une poterie rouge fort jolie qui ressemble à la poterie étrusque.

(4) *Argile de Souillac* (département du Lot); rouge,

homogène, à grains fins, non mélangée de sable. Selon M. Vicat, lorsqu'on la calcine à une température ménagée, elle produit la pouzzolane la plus énergique que l'on connaisse; elle retient encore environ 0,03 d'eau.

(5) *Ocre jaune de Pourain* (département de l'Yonne); d'une jaune pâle.

(6) *Ocre jaune de Saint-George-sur-la-Prée* (département du Cher); d'un très beau jaune et à grains extrêmement fins.

(7) *Ocre jaune de Saint-Amand* (département de la Nièvre); de qualité moyenne.

Ocres. L'ocre jaune n'est que de l'argile colorée et pour ainsi dire teinte par de l'hydrate de fer; elle n'est estimée dans le commerce qu'autant qu'elle est d'un jaune pur et qu'elle peut être amenée à l'état de poudre aussi fine que de la farine. Il faut qu'elle ne contienne ni sable, ni oxide de manganèse, ni matière bitumineuse: par la calcination elle se change en ocre rouge. Les trois variétés dont nous venons de donner l'analyse font parties d'un même terrain, qui paraît appartenir à la partie inférieure de la craie.

	Bayes. (1)	Pougues. (2)	Péronne. (3)	Vitry. (4)
Silice	0,394	0,455	0,354	0,285
Alumine	0,202	0,153	0,111	
Magnésie	.....	.....	.....	.....
Oxide de fer	0,050	0,040	.....	0,030
Carbonate de chaux	0,262	0,180	0,411	0,465
Carbonate de magnésie	0,042	.....	0,016	0,035
Eau	0,050	0,110	0,108	0,040
Sable	.....	0,050	.....	0,145
	1,000	0,988	1,000	1,000

	Terres à foulon d'Angleterre.			Saint-Ouen.	Pantin.
	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Silice	0,328	0,505	0,570	0,510	0,506
Alumine	0,104	0,128	0,103	0,140	0,105
Magnésie	.....	0,040	0,030	0,134	0,072
Oxide de fer	0,052	0,070	0,067	0,030	0,057
Carbonate de chaux	0,384	.....	.....	.....	.....
Carbonate de Magnésie	0,022	.....	.....	.....	.....
Eau	0,196	0,257	0,230	0,182	0,260
Sable	.....	.....	.....	.....	.....
	0,996	1,000	1,000	0,996	1,000

(1) *Marne de Bayes* (département de la Nièvre); rougeâtre, terreuse, douce au toucher, fait pâte avec l'eau; elle renferme quelques petits fragmens de quarz; elle alterne avec des bancs de calcaire jurassique. M. Vicat dit qu'on ne peut l'employer comme ciment ni à l'état naturel, ni lorsqu'on la calcine par les meilleurs procédés.

(2) *Terre végétale de Parigny*, près de Pougues (département de la Nièvre); on la désigne dans le pays sous le nom de *chandeleuse* ou *arbue*; elle a le défaut de se gonfler par la gelée, et de se contracter ensuite beaucoup, ce qui déchausse les blés.

(3) *Marne des environs de Péronne* (département de la Somme); d'un gris clair : on la moule en pains et on la fait cuire comme des briques, puis on laisse ces briques exposées à l'air pendant un certain temps; elles se délitent et tombent en poudre, mais sans s'éteindre et sans *faire prise* comme la chaux hydraulique : on emploie cette poudre en guise de ciment, et on dit qu'elle produit d'excellent mortier hydraulique.

(4) *Marne de Vitry* (département de la Marne); d'un gris clair; elle se trouve à 25 mètres de profondeur dans la craie : on l'exploite pour amender les terres.

(5), (6), (7) *Terres à foulon d'Angleterre;* (5) première qualité, elle est rare; c'est un mélange intime

de terre de seconde qualité et de carbonate de chaux ; elle est couleur purée de pois très claire ; peut-être la magnésie s'y trouve-t-elle combinée avec la silice, et non pas à l'état de carbonate.

(6) Seconde qualité ; d'un blond clair tirant un peu sur le vert grisâtre ; tendre, à grains fins, prend le poli sous l'ongle ; elle forme avec l'eau une pâte visqueuse qui prend assez de consistance par la dessiccation ; lorsqu'on la calcine en morceaux, elle prend de la solidité et devient rouge jaunâtre à la surface et d'un gris noir à l'intérieur. L'acide muriatique bouillant l'attaque en partie ; la dissolution contient du peroxide de fer et de l'alumine ; le résidu est mi-gélatineux et d'un gris verdâtre ; ce qui prouve qu'il retient du fer au minimum d'oxidation ; l'acide sulfurique la décompose complètement et laisse un résidu de silice pure ; sa composition est à peu près exprimée par la formule $BS^3 + Aq^3$, B représentant toutes les bases.

(7) Troisième qualité ; elle ne diffère de la précédente qu'en ce qu'elle est d'un gris légèrement verdâtre au lieu d'être blonde ; elle est cependant beaucoup moins estimée. L'acide sulfurique l'attaque moins complètement. Dans ces trois terres, le fer, pour la plus grande partie à l'état de protoxide, et la magnésie, sont combinés avec la silice comme l'alumine.

(8) *Argile magnésienne de Saint-Ouen*, près de Paris ; elle est d'un gris blond.

(9) *Argile magnésienne de Pantin*, près de Paris ; elle est d'un gris clair un peu luisant, feuilletée ou plutôt fendillée, très tendre et extrêmement légère ; elle renferme un grand nombre de petits noyaux arrondis, d'un jaune pâle, dont la composition diffère peu de celle de la pâte ; l'acide muriatique l'attaque aisément et dissout toute la magnésie, tout le fer, et une partie de l'alumine. Ces deux argiles sont évidemment des mélanges de silicates d'alumine et d'écume de mer ; peut-être dans la dernière une partie de fer est-elle aussi combinée avec la silice.

Écume de mer. Nous croyons convenable de faire connaître ici la composition de l'écume de mer : l'analyse de quatre variétés a donné les résultats suivans :

	De l'Asie-Mineure.	De Cabanas, près de Madrid.	De Coulommiers.	De Salinelle (Gard).	De Quincy.
Silice.....	0,500	0,538	0,540	0,510	0,540
Magnésie.....	0,250	0,238	0,240	0,198	0,190
Alumine.....	....	0,012	0,008	0,030	.....
Eau.....	0,250	0,200	0,200	0,220	0,170
Oxide de fer....	.....	.....	0,006	0,014	0,080
Sable.....	.....	.....	.....	0,028	.....
	1,000	0,988	0,994	1,000	0,980

La formule de ce minéral est évidemment $\dot{M}S^3 + Aq$, qui donne :

Silice.....	0,549	— 0,691
Magnésie....	0,245	— 0,309
Eau.....	0,206	

La variété qui se trouve à Quincy, près de Mehun (Cher), est un peu différente; sa formule est $\dot{f}S^3 + 3\dot{M}S^3 + 6Aq$. Elle se rencontre dans un calcaire d'eau douce, disséminée par taches et veinules; elle est d'un beau rouge de carmin, légère et floconeuse; un très faible degré de chaleur la décolore, et elle devient d'un brun violâtre, puis grise, et enfin, d'un blanc jaunâtre; ce qui prouve que la substance qui la colore est de nature combustible; le fer s'y trouve à l'état de protoxide.

Nous avons vu (page 44) qu'il y a lieu de penser que certaines argiles sont mélangées intimement d'hydrates d'alumine et de certains hydrosilicates de cette terre. Ces minéraux se rencontrent quelquefois à l'état d'isolement, et ont des caractères qui leur sont propres. Nous allons les faire connaître brièvement.

Hydrates d'alumine. On connaît deux hydrates d'alumine qui sont composés comme il suit :

	Diaspore.	gibbsite.
Alumine.....	0,761	— 0,648
Eau.....	0,078	— 0,347
Oxide de fer.	0,147	
	0,986	0,995

Le *diaspore* est une substance rare ; il est compacte, amorphe, d'un blanc brunâtre ; d'après l'analyse de Children, c'est l'hydrate A^3Aq coloré par de l'hydrate de peroxide de fer.

La *gibbsite* est beaucoup plus commune, mais elle se trouve rarement pure ; M. Torrey l'a rencontrée parfaitement exempte de tous mélanges à Richemont (état de Massachusets, en Amérique) dans une mine d'hématite abandonnée ; elle est en masses irrégulières de 2 à 3 pouces de longueur sur 1 pouce au plus de largeur ; elle a une faible transparence ; sa dureté est plus grande que celle du spath calcaire ; sa pesanteur spécifique est de 2,40. Les acides la dissolvent aisément ; elle ne contient ni acide phosphorique ni acide fluorique ; sa formule est AAq ; elle se trouve souvent mélangée en petite proportion dans les minerais de fer. (*Voy.* ce qui concerne la composition des minerais de fer oxidés et hydratés.)

Hydro silicates d'alumine.

Il y a un grand nombre de minéraux différens qui sont composés de silice, d'alumine et d'eau ; on les appelle génériquement *hydrosilicates d'alumine*. Ceux qui renferment une grande proportion d'eau ont tous à peu près le même aspect. D'après les analyses qui ont été faites jusqu'ici, on peut les considérer comme des combinaisons de l'hydrate d'alumine AAq et de différens silicates d'alumine contenant de l'eau de cristallisation. Ils fournissent un nombre considérable d'espèces ; mais il y a lieu de croire que ces espèces se trouvent mélangées entre elles en un grand nombre de proportions. Nous les partagerons en trois groupes que nous nommerons, le premier *Collyrites*, le second *allophanes*, et le troisième *halloysites*. Dans les collyrites il y a plus de 1 atome d'hydrate d'alumine pour 1 atome de silicate. Dans les allophanes l'alumine contient plus d'oxi-

gène que la silice, et dans les halloysites la silice, au contraire, contient plus d'oxigène que l'alumine.

Collyrites. Trois analyses de collyrite ont donné :

	Scarbroïte. (1)		Collyrite. (2)		Collyrite. (3)
Silice.....	0,090	—	0,131	—	0,750
Alumine....	0,425	—	0,425	—	0,445
Oxide de fer.	0,004	—	.....	—	.....
Eau.....	0,481	—	0,444	—	0,405
	1,000		1,000		1,000

(1) La *scarbroite* (M. Vernon) est d'un blanc mat, à cassure conchoïde; sa pesanteur spécifique est de 1,485; elle absorbe beaucoup d'eau sans devenir transparente; on la trouve en veine dans le grès rouge de la côte de Scarborough; sa formule est $A^4SAq^9 = (AS + 6Aq) + 3AAq$.

(2) La *collyrite de Schemnitz* est compacte, opaline, à cassure résineuse éclatante, ressemblant à de la gomme; elle perd de l'eau dans l'air sec, et elle tombe en poudre par la calcination; sa formule est $A^3SAq^6 = (AS + 4Aq) + 2AAq$.

(3) La *collyrite d'Esquerra*, sur les bords du Loo, dans les Pyrénées, trouvée dans un filon de plomb, a pour formule $A^5S + Aq^5 = (AS + 3Aq) + 2AAq$.

Allophanes. Cinq variétés d'allophane ont donné à l'analyse les résultats suivans :

	Firmy. (1)	Gersberg. (2)	Namur. (3)	Schneeberg. (4)	Namur. (5)
Silice.....	0,237	0,241	0,243	0,219	0,276
Alumine.....	0,397	0,388	0,396	0,322	0,362
Oxide de fer....	.....	.....	.....	0,033	.....
Oxide de mangan.	.....	0,023	.....	.....	.....
Magnésie.....	.....	.....	0,023	.....	0,026
Eau.....	0,357	0,357	0,338	0,413	0,336
	0,991	1,009	1,000	0,987	1,000

(1) *Allophane de Firmy* (département de l'Avey-

ron) (M. Guillemin); en concrétions mamelonnées ou en plaques; blanche ou légèrement jaunâtre, à cassure inégale avec éclat résineux, légèrement translucide; mais elle devient opaque à l'air; très tendre; sa pesanteur spécifique est de 1,79; elle donne de l'eau pure à la distillation. Elle remplit ou tapisse les fentes de la houille et paraît avoir été déposée par les eaux filtrantes; sa formule est $A^3S^3Aq^5 = 2(AS + 2Aq) + AAq$.

(2) *Allophane de Gersberg* (M. Walchner); identique avec la précédente.

(3) *Allophane de Namur*, découverte il y a quelques années par M. D'Omalius d'Halloy; elle se trouve en rognons et veines dans des argiles blanches; tantôt elle est vitreuse, transparente, d'un jaune de miel, et assez semblable à du succin; tantôt d'un blanc mat, opalin comme de la calcédoine; tantôt opaque, d'un noir d'ébène ressemblant à du jayet; et tantôt enfin à cassure cireuse, translucide, d'un gris plus ou moins foncé, ayant l'apparence d'un silex pyromaque; sa pesanteur spécifique est de 2,10. Par calcination au contact de l'air, elle devient parfaitement blanche; ce qui prouve qu'elle n'est colorée que par une substance combustible; cette substance n'y est d'ailleurs qu'en très faible proportion. Cette allophane a la même composition que celles de Firmy et de Gersberg.

(4) *Allophane de Schneeberg* (M. Stromeyer); sa formule est $A^4S^3Aq^{10} = 3(AS + 3Aq) + AAq$.

(5) *Allophane de Namur*. Cette variété accompagne la variété (3) et a le même aspect, mais sa formule est $A^5S^4Aq^9 = 4(AS + 2Aq) + AAq$.

Les halloysites analysées jusqu'ici ont été trouvées composées comme il suit : Halloysites.

	Anglar. (1)	Hall. (2)	Nontron. (3)	Saint-Sever. (4)	Confolens. (5)	Fahlun. (6)
Silice.....	0,390	0,390	0,412	0,500	0,495	0,468
Alumine.	0,340	0,350	0,288	0,220	0,180	0,267
Oxide de fer..	....	.....	.....	.....	.....	0,050
Magnésie.....	....	.....	.....	.....	0,021	0,004
Chaux.	....	.....	0,016	.....	0,021	0,030
Eau.....	0,260	0,255	0,284	0,260	0,280	0,135
	0,990	0,995	1,000	0,980	0,997	0,954

(1) *Halloysite d'Anglar,* près de Liége; compacte, à cassure conchoïde cireuse, d'un blanc pur ou d'un blanc légèrement nuancé de bleu grisâtre, translucide sur les bords, happant fortement à la langue; elle se laisse rayer par l'ongle et prend le poli sous le frottement du doigt. Lorsqu'on la met en petits morceaux dans de l'eau, elle devient transparente comme l'hydrophane; il s'en dégage de l'air, et son poids augmente d'environ un cinquième. Si on la tient en poussière exposée à une température qui s'approche de 100°, elle abandonne de l'eau, et elle ne perd plus après que 0,16 de son poids par la calcination; elle ne fait pas pâte avec l'eau : sa pesanteur spécifique est de 1,80 à 2,00; elle se trouve en rognons variant de grosseur, depuis le volume du poing jusqu'à celui d'un mètre cube, dans des filons de fer hydraté mêlé de galène, de plomb carbonaté et de calamine, qui traversent un calcaire de transition; sa formule est $A^3S^4Aq^5 = 2(AS^2 + 2Aq) + AAq$. Elle est souvent colorée par une petite quantité de phosphate de fer.

(3) *Halloysite de Hall,* en Allemagne (M. John); elle est identique avec la précédente.

(3) *Halloysite de Nontron* (département de la Dordogne), trouvée par M. Delanoue dans une mine de manganèse qui fait partie d'un terrain de grès arkose; elle ressemble à l'halloysite d'Anglar, mais elle a une légère teinte verdâtre; sa formule est $A^3S^3Aq^4 = (AS^3 + 3Aq) + AAq$.

(4) *Halloysite de Saint-Sever* (département des Landes) (M. Pelletier); jaunâtre ou blanche, demi transparente, tendre, à cassure conchoïde luisante; on la désigne ordinairement sous le nom de *lenzinite*. M. Dufour l'a trouvée en gros rognons dans un sable argileux qui se rapporte à la formation du sable de Montmartre; sa formule est $A^2S^5Aq^5 = (AS^5 + 4Aq) + AAq$.

(5) *Halloysite de Confolens* (département de la Charente-Inférieure); compacte, d'un rose de chair plus ou moins foncé et agréable, à cassure cireuse, très tendre; elle prend le poli sous l'ongle, et elle a une sorte de mollesse; lorsqu'on la met dans l'eau elle éclate en petits morceaux qui acquièrent de la transparence, mais elle ne fait pas pâte comme les argiles. Par la calcination elle devient tout-à-fait blanche et translucide, et elle prend en même temps une forte cohésion, et une dureté telle, qu'elle raie profondément le verre : par la dessiccation à 100°, elle perd une certaine quantité d'eau, et n'en retient plus que 0,154. Elle se trouve, comme l'halloysite de Nontron, dans un terrain d'arkose en rognons et en veinules au milieu d'une argile ferrugineuse et manganésienne; sa formule est $B^7S^{18} + Aq^{19}$ ou $6(A,C.M)S^3 + 3Aq) + AAq$.

(6) *Triklasite de Fahlun* (en Suède) (M. Hinsinger). Cette substance a de l'analogie avec les halloysites; mais sa composition ne peut pas être regardée comme parfaitement connue; elle se trouve cristallisée en prismes obliques rhomboïdaux de 109° 30′ et 70° 30′, dans lesquels la face terminale est inclinée de 101° 30′ sur l'arête obtuse. Elle est brunâtre, tendre, à cassure conchoïde éclatante; sa pesanteur spécifique est de 2,61; on la trouve dans une roche talqueuse et chloriteuse accompagnée de galène et de cuivre pyriteux.

Nous avons vu (page 49) qu'un grand nombre d'argiles peuvent être considérées comme des halloysites ayant pour formule $5(AS^2 + Aq) + AAq$.

Outre les argiles proprement dites, on emploie encore pour fabriquer les poteries, plusieurs genres de Kaolins.

substances qui ont de l'analogie avec elles, mais qui en diffèrent cependant par quelques propriétés et par leur origine : ces substances portent le nom de *kaolins*. Les kaolins proviennent, sans aucun doute, de la décomposition des feld-spaths ou plutôt des roches primitives composées de feld-spath et de quarz, que l'on appelle *pegmatites ;* aussi se trouvent-ils dans la carrière, mêlés avec ces minéraux réduits par la désagrégation, à l'état de sable.

Après qu'ils ont été purifiés par lévigation, les kaolins sont en poudres fines et impalpables comme les argiles ; ils font pâte avec l'eau, mais ces pâtes sont maigres, courtes et peu liantes ; ils sont ordinairement du plus beau blanc, mais il y en a qui sont colorés en rouge ou en gris. Par la cuisson, les pâtes de kaolin se contractent beaucoup et acquièrent une grande dureté ; elles sont absolument infusibles au feu de porcelaine quand elles sont bien pures ; elles se ramolliraient probablement dans un fourneau d'essai. On emploie les kaolins presque uniquement à la fabrication de la porcelaine, parce qu'ils coûtent trop cher pour qu'on puisse s'en servir dans la préparation des poteries communes. Voici le résultat de l'analyse de six variétés de kaolin.

	Saint-Yriex. (1)	Schneeberg. (2)	Meissen. (3)	Saint-Tropez. (4)	Mende. (5)	Normandie. (6)
Silice.....	0,468	0,436	0,528	0,558	0,635	0,500
Alumine.	0,373	0,377	0,312	0,250	0,280	0,280
Potasse.....	0,025	.....	0,022	0,032	0,010	0,022
Chaux.	.....	.....	.....	.....	.....	0,055
Magnésie.	trace.	.....	0,016	0,085	0,080	0,007
Oxide de fer..	.....	0,015	.....	0,018	.....	0,055
Eau.	0,130	0,126	0,100	0,072	.....	0,095
	0,996	0,954	0,978	0.995	1,005	1;014

(1) *Kaolin de Saint-Yriex* (département de la Haute-Vienne) ; préparé par décantation à la manufacture de porcelaine de Sèvres et desséché, il est parfaitement

blanc. Lorsqu'il n'a pas été calciné il est attaquable par les acides forts. Si l'on admet, comme cela paraît très vraisemblable, que la potasse provient d'une certaine quantité de feld-spath non décomposé, on trouve aisément que dans le kaolin absolument pur la silice et l'alumine seraient dans le rapport de 48 à 52 ; or, ce rapport est celui qui constitue le silicate d'alumine AS, et comme la formule du feld-spath est KA^3S^{12}, il s'ensuit que ce minéral abandonne le silicate de potasse KS^9, et perd, par conséquent, les deux tiers de son poids, en passant à l'état de kaolin. La cause de ce phénomène extraordinaire est absolument inconnue, et il est d'autant plus difficile de s'en faire une idée, que l'eau, à laquelle on pourrait être tenté de l'attribuer, paraît être sans action sur le silicate de potasse acide KS^9. Rose père a analysé un kaolin qui lui a présenté presque exactement la composition à laquelle nous venons de parvenir par induction : il a eu

Silice.....	0,5200	0,9933
Alumine.....	0,4700	
Oxide de fer...	0,0033	

M. Guillemin a trouvé dans les fissures des rognons de minerais de fer du terrain houiller de Fins (Allier) et d'autres lieux, une substance blanche formée de petites écailles ou de petites fibres nacrées, douces au toucher, et faisant facilement pâte avec l'eau, qui par sa composition est identique avec le kaolin de Saint-Yriex et de Schneeberg, supposé exempt de potasse et de feld-spath. Cette substance contient

Silice.....	0,416	1,000
Alumine.....	0,434	
Potasse.....	0,150	

sa formule est $3AS + 2Aq$. On lui a donné le nom de *Pholérite*.

(2) *Kaolin de Schneeberg* (en Saxe) ; il est légèrement rougeâtre : la perte comprend l'alcali ; on en a constaté l'existence, mais il n'a pas été dosé.

(3) *Kaolin de Meissen*. On dit qu'il provient de la

décomposition d'une roche porphyritique ; il est d'un très beau blanc.

(4) *Kaolin de la Garde-Fregney,* près de Saint-Tropez (départ. du Var) ; il est sensiblement coloré en rouge ; il forme un banc de 12 à 14 mètres d'épaisseur, accompagné de granite graphique, au milieu d'un terrain de schiste micacé ; il est mêlé de feld-spath lamelleux et de mica qu'on a séparés, autant qu'on l'a pu, par lévigation.

(5) *Kaolin des Fourches,* près de Mende (département de la Lozère) ; il a une faible teinte rougeâtre, et il est mêlé d'une quantité considérable de sable feld-spathique à très gros grains.

(6) *Kaolin de Normandie ;* il est très coloré par de l'oxide de fer.

On voit par ces analyses, que la composition des kaolins est variable ; cela tient, 1°. à ce qu'il est presque impossible de les purifier complètement par le lavage ; 2°. à ce que le feld-spath ne se décompose probablement que graduellement, et passe par une multitude d'états avant de se changer en kaolin parfaitement pur ; 3°. et enfin, à ce que les kaolins sont produits par des feld-spaths dont les uns sont à base alcaline et les autres à base magnésienne ou qui contiennent ces deux sortes de bases à la fois.

Préparation des argiles. — On fabrique les creusets et les poteries en général, avec des argiles pures ou avec des mélanges d'argile et de diverses substances. Nous ferons connaître plus loin la nature de ces mélanges. On commence par trier ou éplucher l'argile à la main, après l'avoir concassée en petits morceaux, afin d'en séparer les parties qui sont fortement colorées par de l'oxide de fer ; puis on la délaie dans de l'eau, à l'aide de patouillets ; on l'amène à l'état de bouillie très liquide, on passe cette bouillie à travers des tamis métalliques qui retiennent les gros sables et les parties non délayées, et enfin, on en sépare le sable fin par lévigation dans de grands bassins convenablement disposés. Quand on a fait couler l'eau de ces bassins, on en retire l'argile, on la mêle avec

Triage.

les substances qui doivent lui être associées, et on la pétrit pour rendre le mélange bien homogène. Le plus souvent le pétrissage se fait sous les pieds des hommes ; c'est pourquoi cette opération s'appelle *marcher* l'argile ; mais dans un grand nombre de manufactures on se sert maintenant de pétrissoirs mécaniques qui consistent en cylindres verticaux garnis intérieurement de lames horizontales, et au centre desquels tourne un axe armé de lames tranchantes courbées en spirales. Plus l'argile est malaxée, et meilleures sont les pâtes ; aussi quand il s'agit de fabriquer des poteries fines, on répète plusieurs fois le pétrissage, après avoir abandonné pendant quelque temps l'argile à elle-même, et en la découpant en divers sens à l'aide de fils de cuivre. Presque toujours aussi on fait ce que l'on appelle *pourir* la pâte, c'est-à-dire qu'on la laisse exposée dans des lieux humides pendant plusieurs mois avant de l'employer ; elle éprouve alors une sorte de fermentation due sans doute à la décomposition des matières bitumineuses que les argiles renferment presque toujours, et on remarque que par cette préparation les pâtes acquièrent du liant et s'améliorent considérablement. Pourissage.

Fabrication des creusets. — On façonne les pièces avec ces pâtes par différens procédés : 1°. tantôt, et le plus souvent, on emploie le tour du potier ; 2°. tantôt on comprime la pâte dans des moules en bronze, analogues à ceux dont on se sert pour faire les coupelles, ou dans des moules en terre, en bois, etc., ou bien encore on dispose la pâte à la main autour de mandrins en bois, etc., qui ont la forme du vide intérieur des creusets ; 3°. tantôt on façonne au tour, avec des outils tranchans, des masses à moitié sèches ; 4°. tantôt on opère par coulage : ce procédé ingénieux a été imaginé par M. Cameron : on l'emploie rarement pour façonner les creusets, mais il est très commode pour fabriquer certaines pièces telles que les tubes et les cornues ; voici en quoi il consiste : on a un moule en plâtre sec d'une grande épaisseur, et Coulage.

qui peut se partager en deux parties dans le sens longitudinal ; on le remplit avec de la pâte délayée en bouillie liquide, et on le laisse en repos pendant quelques instans. Le plâtre absorbe beaucoup d'eau, et une partie de la pâte, devenue très consistante, s'attache à la surface intérieure du moule ; alors on vide celui-ci et on le remplit avec de nouvelle pâte, etc., et en réitérant cette opération à plusieurs reprises, on peut donner à la pièce telle épaisseur que l'on désire ; enfin, quand cette pièce a acquis assez de consistance, par la dessiccation, pour qu'on puisse la manier sans la déformer, on ouvre le moule et on la retire ; 5°. quelquefois enfin, pour les creusets de grandes dimensions, on forme avec la pâte argileuse des cylindres pleins que l'on fore ensuite, lorsqu'ils ont pris un peu de consistance, à l'aide d'une tarrière de forme convenable.

Dessiccation. Les pièces façonnées doivent être soumises à une dessiccation très lente et long-temps prolongée, afin qu'elles puissent se contracter sur elles-mêmes également dans tous les sens et sans se gercer. Souvent, quand elles sont à moitié sèches, on les met sur un moule et on les bat avec précaution pour leur donner plus de compacité et pour faire disparaître les soufflures ; ensuite on les fait cuire plus ou moins fortement, selon leur nature et selon le degré de dureté et de cohésion que l'on veut leur donner. Dans les laboratoires, on emploie souvent les creusets et les cornues sans être cuits.

Forme. Les creusets les plus répandus dans le commerce viennent de la Hesse et ont la forme d'une pyramide triangulaire (Fig. 10) ; on en fait de toutes sortes de grandeurs, qui entrent les uns dans les autres, et que l'on vend par piles. Pour leur donner cette forme, on les fait d'abord ronds au tour, en les évasant en forme de tulipe, puis en comprime les bords entre les doigts selon la forme voulue. Cette forme est assez convenable parce qu'elle a l'avantage d'offrir trois becs naturels le long desquels on fait couler les matières fondues. Cependant presque partout ailleurs que dans la Hesse, on donne aux creu-

sets la forme de cônes circulaires tronqués auxquels on ménage un bec comme à des cafetières (Fig. 11) : autrefois on faisait un grand usage pour les essais, en Allemagne, de creusets ayant la forme de coquetiers (Fig. 12), et que l'on nomme *tutes*. Le fond en est à l'intérieur conique et très étroit, et l'ouverture resserrée; en sorte qu'il ne faut qu'un très petit couvercle pour les boucher. Ces sortes de creusets seraient assez commodes pour faire des essais dans lesquels on emploie des flux alkalins ou autres très fusibles et susceptibles de se boursoufler beaucoup, par exemple pour la plupart des essais de plomb, d'antimoine, de cuivre, etc., les métaux fondus se rassembleraient dans la partie étroite du fond des creusets, et se trouveraient ainsi très nettement séparés des scories; mais on ne fabrique pas de *tutes* en France, et celles que l'on trouve encore en Allemagne sont en général très mal façonnées.

Propriétés essentielles.

Pour être parfaits et pour pouvoir servir indistinctement à toutes sortes d'usages, les creusets devraient remplir les quatre conditions suivantes : 1°. supporter sans se casser ni se fêler de très brusques changemens de température; 2° être infusibles; 3°. n'être attaquables que le moins possible par les substances en fusion qu'ils doivent contenir; 4°. et enfin être imperméables aux liquides et aux gaz. Mais comme il est très difficile de réunir toutes ces conditions, du moins à un même degré, et qu'heureusement cela est rarement nécessaire, il vaut mieux préparer diverses qualités de creusets qui soient chacune essentiellement propre à un certain nombre d'usages.

Mélange de ciment.

Résistance aux changemens de température. — Pour rendre les creusets capables de supporter des changemens brusques de température sans se casser, on mêle à la pâte argileuse une certaine proportion de diverses substances infusibles par elles-mêmes et qui ne soient pas susceptibles de prendre du retrait par la chaleur; c'est ce qu'on appelle le *ciment :* on se sert pour ciment de sable quarzeux, de silex broyé, d'argile cal-

cinée, de tessons de creusets, de graphite et de coke. On réduit ces substances en poudres plus ou moins fines, selon le grain qu'on veut donner aux pâtes : pour les creusets ordinaires, la poudre doit être assez grossière; mais pour les creusets de porcelaine, et pour certaines poteries, on l'amène à l'état de farine. Plus la proportion de ciment qu'on emploie est grande et moins les creusets sont cassans par les changemens de température, mais aussi moins ils ont de solidité et plus ils sont poreux et perméables; d'ailleurs, passé une certaine limite, ils donnent des pâtes si peu consistantes, qu'il devient impossible de les façonner. Plus une argile a de *liant*, et plus grande est la quantité de ciment dont on peut la mélanger. L'argile simplement calcinée étant susceptible de prendre encore du retrait par une forte chaleur, est moins efficace pour empêcher les creusets de casser que les autres substances que nous avons indiquées. Le choix de ces substances dépend, au reste, ainsi qu'on va le voir, des circonstances et de l'usage que l'on se propose de faire des creusets.

Infusibilité. — Les creusets les plus réfractaires sont ceux qui sont faits avec des argiles pures ou ne contenant que quelques centièmes d'oxide de fer tout au plus, mais surtout exemptes de matières calcaires; et parmi ces argiles, les meilleures paraissent être les plus siliceuses; cependant les creusets d'argile pure ne sont pas absolument infusibles, et à la haute température des fourneaux d'essai ils se ramollissent et s'affaissent même souvent sur eux-mêmes. On peut atténuer ce défaut en mêlant à l'argile un ciment absolument infusible par lui-même, savoir, du quarz, du graphite ou du coke : ces substances forment comme une ossature solide qui retient par adhérence l'argile ramollie et l'empêche de s'affaisser. Le graphite et le coke sont pour cet usage plus efficaces que le quarz, parce qu'ils n'ont absolument aucune action sur l'argile, tandis que le quarz s'y combine à une chaleur très élevée, et qu'au bout d'un certain temps il pourrait se produire un composé homogène ramollissable, surtout si l'on n'avait pas l'attention de l'employer en grains

d'une certaine grosseur. Relativement à l'infusibilité, on ne saurait employer une trop grande proportion de ciment ; mais cette proportion est limitée par la nécessité de conserver une certaine ténacité aux pâtes, et une solidité suffisante aux creusets. Si d'ailleurs on faisait usage d'une trop grande quantité de graphite ou de coke, ces matières se consumeraient peu à peu par la combustion, les creusets deviendraient poreux, perméables, et ils se briseraient aux moindres mouvemens. A défaut de graphite et de coke, on pourrait employer du charbon de bois; mais ce combustible est beaucoup moins bon, et l'on ne peut pas en mettre une aussi grande quantité, parce qu'il brûle trop facilement.

Nous donnerons ici la composition de ceux des creusets qu'on trouve dans le commerce, qui passent pour être les plus réfractaires, et nous y joindrons celle des meilleurs pots de verrerie et des briques également connus pour être très réfractaires. Composition.

	Hesse. (1)	Paris. (2)	Saveignies. (3)	Angleterre. (4)	Saint-Étienne. (5)
Silice.....	0,709	0,646	0,723	0,710	0,652
Alumine....	0,248	0,344	0,195	0,230	0,250
Magnésie....	.....	.....	.....	.....	.....
Oxide de fer.	0,038	0,010	0,039	0,040	0,072
Eau.....	.....	.....	0,018	.....	.....
	0,995	1,000	0,975	0,980	0,974

	Nemours. (6)	Bohème. (7)	BRIQUES. Creuzot. (8)	BRIQUES. Provins. (9)
Silice.....	0,674	0,680	0,680	0,776
Alumine...	0,320	0,290	0,280	0,190
Magnésie...	.....	0,005	.....	0,028
Oxide de fer.	0,008	0,022	0,020	0,003
Eau.....	.....	.....	0,010	.....
	1,002	0,997	0,990	0,997

(1) *Creusets de Hesse.* Ils sont fabriqués avec un mélange de l'argile très alumineuse dont nous avons donné la composition (page 45), et de un tiers à la moitié de son poids de sable quarzeux. Ils supportent sans se fêler les changemens de température les plus brusques, et ils sont réfractaires; mais pour beaucoup d'usages on trouve que leur grain est trop grossier : ils sont trop poreux, et leur nature très siliceuse s'oppose à ce qu'ils puissent contenir long-temps la litharge et les matières alcalines en fusion. Un morceau chauffé à 150° p. dans un creuset brasqué, s'est plissé à la surface et s'est arrondi sur les angles : sa cassure était inégale, peu luisante, mais laissait voir çà et là des particules arrondies; ce qui prouve que la pâte n'est pas homogène; à l'extérieur ce morceau était d'un rouge violacé métallique.

(2) *Creusets de Paris,* de la fabrique de Beaufay. Ces creusets sont excellens; on n'en emploie pas d'autres au laboratoire de l'École des Mines, depuis que la fabrique est établie. Ils sont au moins aussi réfractaires que ceux de la Hesse; ils supportent tout aussi bien les alternatives du chaud et du froid sans se casser, et ils contiennent la litharge en fusion pendant un beaucoup plus long-temps. Ils sont faits avec environ 1 partie d'argile d'Andenne crue (page 45), et 2 parties de la même argile cuite et grossièrement concassée. Leur pâte est fine, et pour que leur surface soit bien unie, on les enduit, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur d'une couche mince d'argile crue toute pure. Ils laissent facilement suinter l'eau à travers leurs pores. Un fragment de ces creusets chauffé à 150° p. dans la brasque, s'arrondit un peu sur les angles et sur les arêtes, mais sans se déformer, et il prend la cassure luisante et unie de la poterie dite cuite en grès : sa surface devient d'un rouge de cuivre.

(3) *Creusets de Saveignies,* près de Beauvais, fabriqués par M. Deyeux fils. Ils sont bien façonnés, minces, partout d'une égale épaisseur et bien unis; leur grain est fin et homogène; ils sont poreux : quand on les remplit d'eau ils contiennent ce liquide, mais ils s'en imbibent et res-

tent humides à la surface extérieure; ils passent du froid au chaud, et du chaud au froid sans se casser. Ils sont aussi plus réfractaires que ceux de Beaufay; car, lorsqu'on en chauffe un morceau à 150° p. dans la brasque, il conserve sa texture grenue et ne se cuit pas en grès; mais néanmoins ses angles s'arrondissent un peu; il devient d'ailleurs d'un rouge de cuivre à la surface, comme tous les autres creusets de terre. Ce caractère, semblerait annoncer la présence du titane dans les argiles; mais il provient peut-être de ce qu'on emploie des outils de cuivre dans la préparation des creusets. Malgré ce que nous venons de dire, les creusets de M. Deyeux sont beaucoup moins bons que ceux de M. Beaufay, parce qu'ils ont le défaut de ne pouvoir contenir la litharge en fusion que pendant très peu de temps. Ils sont faits avec un mélange d'argile et de quarz en poudre fine, et peut-être réduit en farine sous des meules.

(4) *Creusets* qu'on emploie en Angleterre dans les fabriques d'acier fondu.

(5) *Creusets de la verrerie de Bagneaux*, près de Nemours (département de Seine-et-Marne). On les fabrique avec de l'argile de Forges (page 45). Lorsqu'ils ont servi, ils sont excessivement durs, d'un gris clair, et remplis d'une infinité de petites cavités bulleuses; ce qui annonce un commencement de fusion.

(7) *Creusets d'une verrerie de Bohème.* Quand ils ont servi, ils ont le même aspect que ceux de Bagneaux; seulement on distingue au milieu de la pâte grise une multitude de petits grains très blancs; ce qui annonce qu'ils sont fabriqués avec un mélange de plusieurs terres différentes.

(8) *Briques* dont on se sert pour construire le creuset des hauts-fourneaux du Creuzot. Elles sont faites avec un mélange d'argile crue et d'argile cuite venant des environs de Perrecy et du Montet.

(9) *Briques de Sevelles*, près de Provins (département de Seine-et-Marne). M. J. Bumm s'en sert pour construire les fours à réverbère dans lesquels il

affine la ferraille, et il les regarde comme excellentes.

Plombagine. Nous avons fait connaître la composition des creusets de plombagine qui nous viennent d'Ips et de Passau (page 50). On les fabrique avec un mélange de 1 partie d'argile réfractaire, et de 3 à 4 parties de plombagine naturelle, qui n'est autre chose que du graphite très argileux. Ces creusets supportent toutes les vicissitudes possibles de température sans se casser, et ils se déforment rarement, même dans les fourneaux d'essai les plus échauffés, non parce qu'ils sont absolument infusibles, mais parce que le graphite qu'ils contiennent les empêche de s'affaisser. Un morceau chauffé à 150° p. dans la brasque ne change aucunement d'aspect à l'extérieur; il ne devient pas rouge, et ses angles ne s'arrondissent pas : sa texture reste écailleuse et d'un gris métalloïde; mais la masse est çà et là poreuse, à pores arrondis; ce qui annonce le ramollissement de la pâte. Après cette épreuve le morceau est très fortement magnétique, tandis que les creusets simplement cuits le sont à peine. Il est probable que le fer contenu dans la plombagine est amené par l'action du graphite à l'état métallique; et qu'ainsi, dans ce cas, loin de déterminer la fusion de l'argile, comme cela arrive quand, à défaut de mélange de carbone, il reste à l'état d'oxide, ce métal contribue aussi bien que le graphite lui-même à donner de la consistance aux creusets.

Mélanges de combustibles. La plombagine étant une matière rare, on a cherché à y suppléer par des mélanges artificiels, et l'expérience a prouvé que l'on pouvait faire d'excellens creusets en ajoutant, comme ciment, à des argiles réfractaires, du coke de bonne qualité, bien calciné et réduit en poudre. On pourrait remplacer le coke par des anthracites, pourvu que celles-ci ne fussent pas trop pyriteuses. On fait en Angleterre de très bons creusets dans lesquels on peut, selon M. Autrey, faire jusqu'à seize fontes d'acier, avec 2 parties d'argile de Stourbridge, et 1 partie de coke, provenant des fabriques de gaz.

Des creusets semblables, propres à contenir 20 kilogrammes d'acier, ne reviennent qu'à 1 fr. 40 c. Pour les creusets à fondre le laiton, M. Autrey conseille d'employer un mélange de 4 parties d'argile de Stourbridge, 2 parties de tessons de vieux creusets concassés, 1 partie de coke dur, et 1 partie de terre de pipe que l'on applique contre les parois intérieures pour boucher les pores et rendre les surfaces bien lisses.

Les creusets dans la pâte desquels il entre des matières charbonneuses, agissent sur les oxides comme réductifs, et cela est souvent un inconvénient; ils ne sont donc pas propres à tous les usages; on ne les emploie guère que pour fondre des métaux et faire des essais de matières métalliques qui exigent une très forte chaleur. On pourrait cependant les appliquer presqu'à tous les besoins, en les enduisant intérieurement d'une couche d'argile pure, suffisamment épaisse.

Couverte.

Les creusets de terre, lorsqu'ils n'ont été cuits qu'à la chaleur blanche, sont tous perméables aux gaz, et laissent même suinter l'eau plus ou moins promptement, selon que leur grain est plus ou moins gros. Pour les rendre propres à contenir tous les liquides, il faudrait les chauffer assez pour qu'ils éprouvassent un commencement de fusion; mais alors ils coûteraient beaucoup plus cher, et ils perdraient d'ailleurs la faculté de pouvoir être refroidis brusquement sans se casser. Heureusement ces sortes de creusets sont de peu d'utilité, parce que ceux qui laissent suinter l'eau assez rapidement, ont la faculté de contenir les substances vitreuses et la plupart des autres matières en fusion; lorsqu'on en a absolument besoin il faut se servir de creusets de porcelaine. Quant à la propriété d'être imperméables aux gaz, on ne peut la leur donner qu'en garnissant leur surface d'un enduit vitreux qu'on nomme *couverte* ou *vernis*. Tous les creusets ne sont pas susceptibles de recevoir une couverte; il faut pour cela que leur grain soit fin et très serré; s'il en était autrement, au moment de sa fusion, la matière de la couverte s'imbiberait dans la pâte, et

tous les pores de celle-ci pourraient n'être pas bouchés. On ne met ordinairement de couverte qu'aux creusets de porcelaine. Cette couverte n'est autre chose qu'un verre alumineux alcalin fusible ; on l'applique intérieurement. Il serait cependant utile pour certaines opérations, que l'on fît des creusets vernissés plus réfractaires que ceux de porcelaine. Les bonnes poteries, dites *cuites en grès*, pourraient servir pour cet usage. Le vernis de celles de Saint-Amand (département de la Nièvre), se fait avec un mélange de scories de forge, de sable, de craie et d'argile : il est vitreux, transparent, et d'un brun foncé; il contient :

Silice.....	0,558
Alumine.....	0,070
Chaux.....	0,208
Magnésie.....	0,010
Oxide de fer.....	0,124
Oxide de manganèse.	0,030
	1,000

C'est à peu près la composition d'un laitier de haut-fourneau un peu chargé de fer.

Dans l'état des choses, si la condition de l'imperméabilité était indispensable, ce qu'il y aurait de mieux à faire serait de se servir d'un creuset de porcelaine vernissé que l'on placerait dans un autre creuset en terre réfractaire.

Porcelaine. La porcelaine n'est pas un composé particulier, défini et invariable : toutes les poteries dont la pâte est blanche, le grain très fin, qui peuvent éprouver par la cuisson un ramollissement tel, qu'elles acquièrent un certain degré de translucidité, sont des porcelaines, et l'on peut en composer de mille manières. Les belles porcelaines dures, c'est-à-dire celles qui se cuisent à une très haute température, les seules que l'on emploie pour faire des creusets, etc., se fabriquent toujours, en France et en Allemagne, avec du kaolin mêlé de fondans alcalins ou calcaires. Dans le Piémont et en Angleterre on fait de fort bonnes porcelaines avec des mélan-

ges d'argiles blanches et de matières magnésiennes. Les analyses suivantes donneront une idée de la composition de ces différentes porcelaines. Composition.

	Sèvres. (1)	Angleterre. (2)	Piémont. (3)
Silice.....	0,600	0,820	0,698
Alumine.....	0,353	0,091	0,104
Potasse.....	0,018	.....	.....
Chaux.....	0,025	0,013	0,020
Magnésie.....	.....	0,074	0,176
	0,996	0,998	0,998

(1) *Pâte de service de Sèvres.* Il entre dans cette pâte ,

0,635 de kaolin de Limoges, décanté ;
0,105 de sable quarzeux d'Aumont ;
0,052 de craie de Boujival ;
0,210 de petit sable.

Le petit sable est extrait du kaolin par le lavage ; c'est un mélange de quarz et de feld-spath. Cette porcelaine est la plus réfractaire que l'on connaisse ; ses fragmens chauffés dans la brasque à 150°, s'arrondissent sur les angles et s'agglomèrent entre eux, mais sans se fondre. La couverte de la porcelaine de Sèvres se fait avec une roche composée de feld-spath et de quarz, que l'on réduit en poudre très fine ; elle contient :

Silice..... 0,416
Alumine..... 0,434 } 1,000
Eau..... 0,150

Dans les manufactures de Paris , la pâte de porcelaine se compose le plus souvent d'un mélange de 4 parties de kaolin caillouteux, c'est-à-dire non lavé, et de 1 partie de feld-spath quarzeux.

(2) *Porcelaine de Worcester,* en Angleterre. Elle ne renferme pas d'alcali. Il paraît que la chaux qu'elle contient est introduite dans la pâte à l'état caustique.

(3) *Porcelaine du Piémont.* La base de cette porcelaine est la magnésite de Baldissero.

La porcelaine a le défaut de ne supporter que difficilement les alternatives du chaud et du froid sans se casser : il faut, lorsqu'on en fait usage, la chauffer lentement et graduellement, et la laisser refroidir de même. Elle contient bien les liquides sans les laisser suinter, même quand elle n'a pas de couverte ; mais alors elle est perméable aux gaz.

Résistance à la corrosion. — Pour que les creusets soient aussi peu attaquables que possible par les substances qu'ils doivent contenir en fusion, il faut qu'ils aient beaucoup de compacité, ou du moins que leur grain soit fin et serré ; et en outre qu'ils soient de telle nature que les substances en fusion n'aient point d'affinité, ou n'en aient que le moins possible pour la matière dont ils sont composés ; cette matière étant d'ailleurs peu fusible ou tout-à-fait réfractaire par elle-même. On conçoit au surplus que, lorsqu'ils sont susceptibles d'être corrodés, ils durent d'autant plus long-temps qu'ils ont plus d'épaisseur ; mais il y a une certaine limite que l'on ne peut pas dépasser, parce que des creusets très épais sont lourds, embarrassans à manier, et qu'ils ne s'échauffent et ne laissent propager la chaleur dans l'intérieur que lentement et difficilement.

Matières corrosives.

Les métaux, non plus que celles de leurs combinaisons qui ne sont pas oxidées, n'attaquent ni les argiles ni la plombagine : il y a cependant quelques substances métalliques, la galène par exemple, qui, sans exercer aucune action chimique sur les matières terreuses, ont la propriété de s'infiltrer à travers leurs pores par voie de capillarité. Les oxides aisément réductibles corrodent peu à peu les creusets de plombagine, et les creusets dans lesquels il entre du coke, en brûlant la matière charbonneuse. La plupart de ces mêmes oxides, les alcalis, les terres, les verres, qui sont des silicates fusibles, les borates, etc., agissent tous plus ou moins énergiquement sur la matière argileuse qui fait la base des creusets ; aussi sont-ce là

les substances qu'il est le plus difficile de contenir pendant long-temps en fusion. Elles attaquent les creusets couche par couche, dissolvent la matière dont ils se composent, et finissent par les amincir à tel point, qu'ils ne conservent plus assez de consistance pour résister à la pression du composé liquide qui y est contenu.

Imperméabilité. — Toutes choses égales d'ailleurs, les creusets à pâte lâche sont plus promptement corrodés que ceux dont la pâte est compacte, parce que la matière corrosive s'infiltrant sur une certaine profondeur dans les pâtes lâches, ce qui n'a pas lieu dans les pâtes compactes, elle en attaque la matière par une plus grande surface, et la dissout par conséquent plus facilement. C'est à cause de cela que l'on donne aux pots de verrerie autant de densité qu'on peut le faire, en battant la pâte avec grand soin, et en employant pour faire ces pâtes des argiles très liantes et des ciments très fortement cuits; mais on ne peut chauffer des creusets fabriqués de cette manière qu'avec un soin extrême, et il arrive souvent que le moindre contact d'air frais qui frappe sur eux pendant qu'*ils* sont rouges, suffit pour les fêler. De semblables creusets seraient très incommodes pour faire des essais. Compacité des pâtes.

Quant à la nature de la pâte, comme les substances que l'on a à fondre sont en général basiques, et exercent par conséquent une action dissolvante beaucoup plus grande sur la silice que sur l'alumine, et que d'ailleurs elles forment avec cette terre des composés moins fusiles qu'avec la silice, il est évident que, sous ce point de vue, il conviendrait d'employer, pour la confection des creusets, les argiles les plus alumineuses; c'est ce que l'on fait effectivement pour les pots de verrerie, dans la pâte desquels on ne met d'ailleurs jamais de quartz; mais les argiles les plus alumineuses ne sont pas les plus infusibles par elles-mêmes; aussi les creusets qui résistent le plus à la corrosion ne sont-ils pas les plus réfractaires. Nature des pâtes.

On voit d'après tout ce que nous venons de dire, que les conditions de fabrication des creusets de terre qui Propriétés incompatibles.

peuvent porter au plus haut degré l'une de leurs quatre propriétés fondamentales, la faculté de supporter les alternatives de température sans se casser, l'infusibilité, l'imperméabilité et la faculté de résister à l'action corrosive des fondans, affaiblissent en même temps quelques autres de ces propriétés.

Par la litharge. *Essai des creusets.* — On est dans l'usage d'essayer les creusets de terre en y tenant de la litharge en fusion jusqu'à ce qu'ils soient rongés et traversés ; et l'on regarde comme les meilleurs ceux qui la contiennent le plus long-temps. Ce mode d'essai n'est pas exact, même en ayant égard à l'épaisseur des creusets. En effet, la litharge traverse les creusets, premièrement parce qu'elle est très fusible, et qu'elle s'infiltre aisément à travers les pores de la matière ; et secondement, parce qu'elle a la propriété de faire fondre tous les silicates en se combinant avec eux. Un creuset sera donc promptement traversé par la litharge, si son grain est lâche, quoique la matière puisse être peu attaquable et peu fusible ; ou si, au contraire la matière est très attaquable, lors même qu'elle serait absolument infusible, et que son grain serait extrêmement serré ; la promptitude avec laquelle un creuset est traversé par la litharge n'a donc aucun rapport avec sa fusibilité. Un creuset de quarz d'une seule pièce serait très promptement rongé par cet oxide, parce que celui-ci a beaucoup d'affinité pour la silice, et que les silicates de plomb simples sont très fusibles ; tandis qu'il pourrait se faire qu'un creuset composé de silice, d'alumine et de chaux, et qui serait très fusible par lui-même, fût corrodé beaucoup moins rapidement, parce que l'oxide de plomb a beaucoup moins d'affinité pour les terres que pour la silice, et qu'il forme avec les silicates terreux des composés beaucoup moins fusibles qu'avec la silice seule. Mais si la litharge n'est pas propre à faire connaître le degré de fusibilité des creusets, les essais faits au moyen de cette substance remplissent parfaitement leur objet, lorsqu'on se propose de constater la

résistance que la matière de ceux-ci peut opposer à l'action dissolvante des diverses substances fusibles qu'ils sont destinés à contenir, car de toutes les matières fusibles, aucune n'exerce une action aussi corrosive sur les silicates terreux que la litharge. C'est ainsi que l'on doit essayer les pots de verrerie, les creusets destinés à faire des expériences avec les flux alcalins, les vases dans lesquels on doit faire des scorifications, etc.

Les creusets ont à résister non-seulement à l'action corrosive des substances qu'ils doivent contenir, mais encore à celle des cendres que produisent les combustibles au milieu desquels on les place : ces cendres étant le plus souvent calcaires, alcalines ou ferrugineuses, agissent sur la matière argileuse des creusets absolument de la même manière que les flux. Il suit de là que les creusets qui contiennent le mieux la litharge, etc., sont aussi ceux que les cendres corrodent le moins promptement.

Essai direct.

Pour constater la fusibilité des creusets, il faut nécessairement faire une expérience directe, soit en en chauffant un morceau dans la brasque, à la chaleur la plus forte possible, et examinant si les angles s'arrondissent, si la pâte se cuit en grès, devient translucide, etc.; ou, ce qui est préférable, en employant un creuset pour faire un essai, comparativement avec un autre creuset dont les qualités sont connues.

Essai de la perméabilité.

Quant à la perméabilité, on la mesure approximativement en remplissant d'eau le creuset que l'on veut essayer, et un autre creuset de même grandeur que l'on prend pour type, et en notant le temps qu'il faut pour que chacun des creusets se vide par transsudation de l'eau à travers ses pores.

Essai de la solidité.

Enfin, pour savoir si un creuset peut supporter des changemens brusques de température sans se casser, on l'introduit tout froid dans un fourneau plein de charbon allumé, on le retire quand il est rouge-blanc, et on l'expose à un courant d'air froid, ou mieux encore au vent d'un soufflet : s'il a résisté à ces épreuves, on le chauffe de nouveau, on le plonge rouge dans l'eau, et s'il ne

s'est pas cassé, on le remet immédiatement au feu. Les bons creusets supportent toutes ces opérations sans se casser; mais il arrive souvent qu'il s'y produit une multitude de petites gerçures invisibles, à travers lesquelles les matières fondues peuvent passer. On s'assure de l'existence ou de la non-existence de ces gerçures, en fondant très rapidement de la litharge dans le creuset essayé : si celui-ci est resté intact, la litharge ne le traverse pas, du moins immédiatement après l'instant de sa fusion. Il faut faire attention que les creusets sont d'autant moins capables d'être refroidis brusquement sans se casser, qu'ils ont été plus fortement cuits; en sorte que tel creuset qu'on peut plonger dans l'eau sans qu'il se fende, lorsqu'il n'a été cuit qu'au blanc, ne résiste que rarement à cette épreuve quand il a été chauffé assez fortement pour qu'il ait éprouvé un commencement de ramollissement.

Creusets de charbon. — Comme toutes les substances oxidées agissent chimiquement sur les creusets d'argile, et qu'en outre un grand nombre de métaux et de leurs composés oxidés y adhèrent fortement, et sont même susceptibles de les traverser par voie de capillarité, on a dès long-temps eu l'idée de remplacer ces creusets par des creusets de charbon, qui ne présentent pas ces inconvéniens. Les anciens docimasistes se servaient souvent de creusets faits avec un morceau de charbon dans lequel on creusait un trou cylindrique à l'aide d'un petit couteau en fer, en ayant soin d'unir les parois avec le plus grand soin; ou bien ils prenaient deux morceaux de charbon bien dressés, et qui pouvaient se juxta-poser exactement; ils creusaient dans chacun une cavité de la forme de la moitié du vide du creuset; ils appliquaient les deux charbons l'un contre l'autre (Fig. 13), et les maintenaient dans leur position à l'aide d'un fil de fer fortement serré. L'usage de ces sortes de creusets a été généralement abandonné depuis qu'on a imaginé de les remplacer par ce que l'on appelle des *creusets brasqués;* cependant il y a des cas où il pourrait être encore fort utile d'employer des creusets faits avec des morceaux de charbon;

par exemple, si l'on voulait avoir exactement le poids d'une substance qui resterait pulvérulente, ou qui serait susceptible de se mêler ou de s'infiltrer dans la brasque; alors on pesérait la creuset récemment calciné, avant et après l'opération. Il faudrait avoir soin de choisir des charbons bien compactes et sans gerçures; les meilleurs pour cet usage seraient ceux de bois légers, tels que le pin, le saule, le bouleau, etc. On pourrait aussi façonner des creusets au tour avec des morceaux de bois bien secs et bien sains, et les charbonner ensuite dans des vases clos ou remplis de sable. Il y a des variétés de bois d'ébène qui ne diminuent que très peu de volume et ne se fendent presque jamais par la carbonisation. Des couvercles d'étui faits avec une pâte de carton bien compacte, pourraient encore, en les calcinant avec précaution, fournir de très bons creusets de charbon. Enfin, il est facile de préparer soi-même des étuis propres à être soumis à la carbonisation, au moyen de coton cardé imbibé de colle d'amidon, que l'on comprime autour d'un tube de verre qui sert de moule (Fig. 14). On tire parti de ceux de ces étuis qui se gercent ou se fendent pendant la carbonisation, en les enveloppant d'une bande de mousseline collée faisant plusieurs tours, et les carbonisant de nouveau après la dessiccation. Il va sans dire qu'on ne peut se servir des creusets de charbon qu'en les plaçant dans des creusets de terre bien fermés; il convient même de remplir ceux-ci de poussière de charbon un peu tassée : on y adapte ensuite un couvercle bien luté. Bois.

Creusets brasqués. — On appelle *creusets brasqués* des creusets de terre dont les parois intérieures sont garnies d'une couche de charbon (Fig. 15, 16 et 17). On peut les considérer comme des creusets de charbon munis extérieurement d'une enveloppe d'argile réfractaire; ils sont solides, toujours exempts de gerçures, faciles à préparer, et ils ont les mêmes propriétés que les creusets de charbon massif, sans en avoir les inconvéniens.

Pour brasquer les creusets, on se sert de charbon de bois choisi avec soin, afin qu'il ne contienne aucune Brasqué.

matière étrangère ; on le pile, on le passe au tamis de soie, et l'on humecte la poussière avec de l'eau, en l'agitant avec une spatule et la pétrissant entre les doigts jusqu'à ce qu'elle ait acquis assez de consistance pour se pelotonner, sans cependant être assez humide pour adhérer à la main. Quelques personnes conseillent d'employer une dissolution de gomme pour humecter la poudre de charbon : l'addition de la gomme n'a aucun inconvénient, mais elle est absolument inutile ; l'eau seule suffit pour donner à la brasque toute la consistance convenable. D'autres prescrivent de mêler de l'argile avec le charbon, pour rendre la brasque plus solide : on se sert effectivement de ces sortes de brasques, que l'on appelle *brasques dures*, dans les travaux métallurgiques ; mais on ne doit pas en faire usage pour les essais, parce que la brasque de charbon pur est suffisamment solide pour toutes les opérations que l'on a à faire, et que d'ailleurs, dans beaucoup de cas, l'argile ayant la propriété de se combiner avec la substance soumise à l'essai, serait très nuisible et ferait perdre tous les avantages qui résultent de l'emploi des creusets brasqués, ainsi qu'on le verra plus tard.

Préparation.

Voici de quelle manière on prépare un creuset brasqué : on mouille le creuset en le plongeant dans l'eau et le retirant presque aussitôt ; on y met l'épaisseur d'environ 1 centimètre de brasque, puis on tasse très fortement cette brasque, en tenant le creuset dans la main gauche, appuyé sur un sol résistant, et frappant la brasque de la main droite avec un pilon en bois (Fig. 18), d'abord à petits coups, et ensuite à coups redoublés, et jusqu'à ce que la poudre de charbon ait acquis toute la consistance qu'elle est susceptible de prendre. Sur cette couche ainsi tassée on en met une autre, que l'on tasse de la même manière, et ainsi successivement jusqu'à ce que le creuset soit entièrement rempli, en ayant grand soin de rendre la brasque aussi dure que possible, surtout près des parois du creuset. Pour que les différentes couches de brasque adhèrent entre elles et ne forment qu'une masse homogène, il est nécessaire de

rayer en divers sens la surface d'une couche tassée, avec la pointe d'un couteau, avant de mettre par-dessus une nouvelle couche de charbon. Quand le creuset est entièrement rempli, on creuse dans la masse de brasque une cavité conique, de même forme à peu près que le creuset, avec un couteau pointu à lame mince (Fig. 19), en commençant par le centre et élargissant et approfondissant successivement et symétriquement la cavité : celle-ci étant achevée, on en polit les parois en les frottant fortement avec un tube de verre arrondi (Fig. 20), que l'on tient bien serré dans la main droite. Cette précaution est nécessaire, pour que les grenailles métalliques qui se produisent dans les essais ne soient pas retenues par les aspérités de la brasque, et puissent se réunir en un seul culot, en obéissant librement à l'action de la pesanteur. Lorsqu'un creuset brasqué est bien préparé, les parois de la cavité sont lisses et luisantes comme si elles eussent été dressées au tour. Pour les usages ordinaires, on laisse au fond des creusets 1 centimètre environ d'épaisseur de brasque, et 3 à 4 millimètres sur les parois ; mais dans certains cas, par exemple lorsque la matière que l'on a à fondre est susceptible de s'infiltrer dans le charbon et d'agir sur les creusets de terre comme fondant, on donne à la brasque une beaucoup plus grande épaisseur, surtout sur les parois.

Forme. Comme il convient en général de se servir des creusets les plus petits possible, afin de les chauffer plus facilement, il faut, toutes les fois que cela n'a pas d'inconvénient, donner à la cavité que l'on creuse dans la brasque, une forme exactement semblable à celle du creuset, en sorte que le fond en soit presque plat et les parois partout d'une même épaisseur (Fig. 16) ; mais on peut donner à cette cavité, selon le besoin, d'autres formes à volonté ; par exemple, on la fait conique, à fond très étroit (Fig. 15 et 17), quand on veut obtenir des culots métalliques allongés et susceptibles d'être aisément cassés.

Conservation. Lorsque les creusets brasqués sont préparés avec soin, on peut les conserver pendant long-temps avant de s'en

servir, surtout si on les place dans un lieu humide. On peut même les employer quand ils sont tout-à-fait secs, et qui plus est, les calciner au rouge pour en expulser toute l'eau, pourvu qu'on prenne la précaution soit de les couvrir, soit de les remplir de poudre de charbon non tassée, pour empêcher la combustion de la brasque : on enlève facilement la poudre de charbon après la calcination, parce qu'elle ne prend aucune consistance et qu'elle n'adhère pas à la brasque. Cependant, comme la brasque sèche s'égrène très facilement par le frottement, quand on veut faire usage d'un creuset qui a été brasqué depuis longtemps, il est bon d'arroser la brasque avec un peu d'eau avant de s'en servir.

Brasque huileuse.

Quelques personnes brasquent les creusets en enduisant leurs parois avec une pâte faite de charbon et d'huile, ou bien en les humectant d'huile et y appliquant ensuite de la poussière de charbon que l'huile y fait adhérer; mais cette méthode, quoique expéditive, est cependant peu commode, et elle ne procure pas une brasque assez solide.

Avantages.

Les creusets brasqués ont de grands avantages sur les creusets nus; aussi est-il convenable de les employer toutes les fois que la présence du charbon ne peut pas nuire au résultat de l'opération. D'abord la brasque leur donne une grande solidité, et elle les empêche de se déformer quand ils se ramollissent, tandis que les creusets nus se trouvant aux trois quarts vides quand la matière est fondue, parce que celle-ci diminue toujours beaucoup de volume, rien ne soutient leurs parois au moment où ils sont fortement ramollis par la haute température à laquelle ils se trouvent exposés vers la fin de l'essai, et ils sont, à cause de cela, fréquemment exposés à s'affaisser et à se fendre. En outre, les substances vitreuses ne traversant pas la brasque, et n'exerçant aucune action sur elle, on obtient ces substances dans toute leur pureté, et l'on peut en avoir le poids exact; tandis que si on les fondait à creuset nu, non-seulement on ne pourrait pas les peser, parce qu'elles adhéreraient aux parois, mais

on ne les aurait pas pures, parce qu'elles dissoudraient une partie de la matière du creuset; il pourrait même arriver qu'elles attaquassent celui-ci jusqu'au point de le percer et de le faire fondre en partie.

Propriété réductive.

La brasque opère la réduction de la plupart des oxides métalliques par voie de concentration; elle dispense donc presque toujours d'ajouter du charbon ou un flux réductif pour obtenir un métal. Cette propriété est très précieuse, parce que quand on veut réduire un oxide en le mélangeant avec du charbon, il faut employer un excès de celui-ci, et que cet excès restant avec le métal, le divise en grenailles et empêche d'en avoir le poids exact. (*Voy.* d'ailleurs l'article RÉDUCTION, page 34.)

Brasques terreuses.

Quelquefois, mais seulement pour des expériences qui ont un objet tout particulier, on brasque les creusets avec de la silice, de l'alumine, de la magnésie ou de la craie, en humectant ces terres avec de l'eau, comme la poudre de charbon, etc. L'application d'une légère couche de craie rend les creusets de terre moins perméables à la litharge.

Creusets de fer.

Les creusets de fer doux sont très commodes pour faire certaines expériences de fusibilité (*voy.* SILICATES DE FER), ou pour essayer certains sulfures ou séléniures. (*Voy.* PLOMB.) On les fabrique, soit en rétreignant des feuilles de tôle, soit en taraudant des morceaux de fer forgé, comme pour les canons de fusil. Ce dernier mode est de beaucoup préférable au premier, parce qu'il procure des creusets épais et solides qui peuvent servir un grand nombre de fois, tandis que les creusets faits avec des feuilles de tôle qui sont nécessairement très minces, se gercent presque toujours au feu. Lorsqu'on opère à une très haute température, on place les creusets de fer dans des creusets de terre qui les garantissent de l'action oxidante du vent; mais quand on ne chauffe qu'à 50° ou 60° p., et pendant peu de temps, on peut les employer nus, s'ils sont un peu épais. Pour les essais qui se font à ce degré de chaleur, on remplace avec avantage les creusets de fer par des creusets de fonte

Creusets de fonte.

moulés et taraudés à l'intérieur, parce que ces derniers sont moins chers que les premiers.

Creusets d'argent et de platine.

Nous avons déjà fait mention des creusets d'argent et de platine. On ne peut se servir des premiers qu'à la chaleur rouge tout au plus. Les creusets de platine sont infusibles; mais lorsqu'on les soumet à la haute température des fourneaux d'essai, ils s'aigrissent presque toujours, à tel point qu'on ne peut plus en faire usage. On ne les emploie que rarement, à cause de cela, dans des cas semblables, et toujours avec la précaution de les renfermer dans des creusets de terre. Au lieu de creusets, on se sert quelquefois de feuilles minces de platine, dans lesquelles on enveloppe la matière que l'on veut fondre, et que l'on place ensuite dans un creuset de terre; d'autres fois on applique la feuille de platine contre les parois du creuset, à l'aide d'un tube de verre arrondi, et en faisant en sorte de ne pas la déchirer. Quand le platine sera devenu moins rare, il est probable qu'on l'emploiera fréquemment de cette manière, par exemple, pour tous les cas dans lesquels le contact de l'argile ou du charbon peut être nuisible.

§ 2. — Moyen d'opérer la fusion, etc.

Grandeur.

Il convient d'employer les creusets les plus petits possible dans les essais; mais dans le choix de ces creusets il faut avoir égard non-seulement au volume de la matière sèche, mais encore au degré de boursouflement qu'elle est susceptible d'éprouver, de telle sorte qu'elle ne puisse jamais s'élever tout-à-fait jusqu'au bord.

Couvercles.

Les creusets doivent toujours être munis d'un couvercle (Fig. 21), pour empêcher l'accès de l'air et pour qu'il n'y tombe ni cendres ni charbons. Les couvercles ont aussi pour effet de diminuer sensiblement la volatilisation. On les fait avec la même terre que les creusets, et on leur donne une forme telle, qu'ils puissent s'y adapter exactement, en dépassant les bords de quelques millimètres; on réserve dans leur milieu un bouton par lequel on puisse les saisir à l'aide d'une pince. Pour laisser une

issue aux gaz qui doivent se dégager, on pratique dans ce bouton un ou deux trous avec un fil de fer, après qu'ils ont été moulés, et avant de les sécher et de les faire cuire. Quand on fond dans des creusets nus, à une température moyenne, des substances qui se boursouflent, on se contente de poser le couvercle sur le creuset, en le soulevant de temps en temps, et on l'ôte même tout-à-fait quand le boursouflement devient trop considérable, pour le remettre dès que la matière s'est affaissée. Quelquefois aussi on appuie le couvercle d'un côté sur le bord du creuset, et de l'autre sur un petit charbon mis en travers, afin de laisser aux gaz une large issue, et de tempérer par là le boursouflement. Enfin il y a des cas où ce boursouflement est tel, qu'il ne serait pas possible de maintenir le couvercle sur le creuset sans que la matière montât jusque par-dessus les bords : alors on opère à creuset ouvert, en disposant les charbons autour, de manière à ce qu'ils ne puissent pas s'y introduire, ou bien on le bouche en partie avec de gros charbons choisis, que l'on met par-dessus en travers.

Lutts. Lorsqu'on opère à une haute température, dans des creusets brasqués ou non, il faut fixer solidement le couvercle sur le creuset, afin qu'il ne puisse pas se déranger, et laisser celui-ci découvert. Pour cela, on le place sur le creuset, et on l'y fixe au moyen d'un rouleau d'argile que l'on applique sur les bords, et que l'on presse fortement avec les doigts mouillés. Cette argile doit être liante et infusible, comme celle qui sert à faire les creusets et les couvercles. Si les couvercles n'étaient pas percés à leur centre, il faudrait ménager sur les bords quelques passages pour les gaz : cela se ferait en enlevant, avec un couteau, vers les angles, l'argile que l'on a mise pour luter le couvercle.

Tassement. Il y a en général avantage à tasser les matières que l'on introduit dans les creusets, afin de les réduire au plus petit volume possible : cela n'a d'ailleurs aucun inconvénient, même quand il y a boursouflement. On effectue ce tassement avec un pilon d'agate bien poli, ou avec un

tube de verre arrondi, en ayant soin que rien n'y adhère, ou en détachant avec une barbe de plume les parties pulvérulentes très fines qui pourraient y rester attachées, et l'on fait en sorte que la surface de la matière tassée soit plane, et plutôt un peu convexe que concave. Si dans l'opération il ne devait pas y avoir fusion, le tassement serait plus utile encore, en ce qu'il suffit presque toujours pour faire contracter aux parties une adhérence assez grande pour qu'après l'essai on puisse retirer la masse du creuset sans l'égrener, et par conséquent pour permettre d'en prendre exactement le poids. On augmente sensiblement l'adhérence en arrosant la matière, après qu'elle a été fortement tassée, soit avec de l'eau, soit avec de l'huile quand la présence d'un corps combustible ne peut pas nuire.

Recouvrement. Quand on se sert de creusets brasqués, après qu'on a ainsi tassé la matière à essayer, on met par-dessus un peu de poudre de charbon que l'on comprime doucement avec le pouce, puis on achève de remplir le creuset avec de la brasque que l'on tasse fortement, couche par couche, avec le pilon. Un creuset ainsi préparé et muni d'un couvercle bien luté, est comme une masse solide de charbon au centre de laquelle se trouve la substance soumise à l'essai, et il peut se renverser sens dessus dessous dans le fourneau, sans que pour cela le succès de l'essai soit compromis.

Fromages. Si l'on plaçait les creusets immédiatement sur la grille des fourneaux, leur partie inférieure, qui est celle qui doit éprouver la plus forte chaleur, puisque toutes les matières qu'ils contiennent s'y réunissent au moment de la fusion, serait au contraire continuellement refroidie par le courant d'air qui traverse la grille ; il est donc nécessaire de les élever à une certaine hauteur. Pour cela, on les met sur des supports auxquels on donne le nom de *fromages* : ce sont des masses d'argile cuite, de forme cylindrique (Fig. 22). Pour les essais qui se font à une température de 50 à 60° p. au plus, on se contente de poser le creuset sur le fromage sans l'y attacher, parce

qu'il est facile de le maintenir dans une position verticale pendant toute l'opération, à l'aide des pinces; mais pour les essais qui ont lieu à une très forte chaleur, comme les creusets sont toujours couverts par une grande masse de charbon qui les presse souvent beaucoup plus d'un côté que de l'autre, si l'on ne prenait pas d'autres précautions, ils seraient infailliblement renversés; il faut les souder au fromage avec de l'argile grasse et réfractaire, de la même manière qu'on lute les couvercles. Dans les essais qui se font à une température moyenne, un seul fromage ordinaire suffit; mais quand on chauffe très fortement, il faut que le fond du creuset soit élevé de 6 à 8 centim. au-dessus de la grille, parce que c'est à peu près à cette hauteur qu'a lieu la plus grande chaleur dans le fourneau: alors on emploie deux fromages, que l'on met l'un au-dessus de l'autre, ou, ce qui vaut mieux, un morceau de brique taillé en cube (Fig. 23), qui par sa forme a plus d'assiette qu'un fromage, et l'on met un fromage par-dessus, en ayant soin de bien souder l'un à l'autre à l'aide d'une couche mince d'argile interposée entre eux. Il est nécessaire que le fromage sur lequel repose immédiatement le creuset soit réfractaire; mais quant au fromage inférieur ou à la brique, cela n'est pas nécessaire, parce qu'ils n'éprouvent pas une chaleur aussi élevée.

Placement des creusets.

Les creusets étant munis de leurs couvercles et soudés sur les fromages (Fig. 24), on les place avec soin dans le fourneau, de telle façon qu'ils soient bien verticaux, à peu près à égale distance les uns des autres, qu'ils ne touchent pas les parois, et que leur base se trouve solidement appuyée sur deux barreaux de la grille. Il convient de ne luter les creusets avec leurs couvercles et leurs fromages, que très peu de temps avant de les mettre dans le fourneau, parce qu'autrement l'argile en se desséchant se contracterait, se fendillerait, et que n'adhérant plus alors que faiblement au creuset, elle pourrait s'en détacher dans les mouvemens que l'on ferait pour placer celui-ci dans le fourneau. Si néanmoins quelques circonstances obligeaient à préparer les

creusets vingt-quatre heures à l'avance, il faudrait les tenir enveloppés dans un linge mouillé, pour les empêcher de se dessécher.

Mise en feu. Lorsqu'après avoir placé les creusets dans le fourneau, on l'a presque rempli de combustible non allumé, on jette par-dessus celui-ci une pelletée de charbon de bois bien embrasé, puis on achève de remplir avec du combustible noir, et on laisse le feu se propager peu à peu par le simple tirage qui a lieu à travers la grille, sans le secours de la cheminée ou des soufflets. Au bout d'une heure environ, les creusets et les parois du fourneau sont rouge-blanc, et l'on peut commencer à donner le vent. On gradue celui-ci de quart d'heure en quart d'heure, soit en ouvrant la trappe de la cheminée, si l'on se sert d'un fourneau à vent, soit en tournant les robinets des tuyaux, si l'on chauffe dans un fourneau à soufflets.

Fin de l'essai. Quand on juge que l'essai doit être terminé, on cesse d'ajouter du combustible, et lorsque les creusets sont à découvert, on les retire à l'aide de pinces courbes (Fig. 25 et 26); on les pose dans un bain de sable, et on les laisse refroidir lentement et complètement. Pour les ouvrir, on les tient horizontalement dans la main gauche, et l'on frappe à petits coups, avec la tranche d'un marteau, sur les bords du couvercle dans tout son pourtour et principalement vers les points où il présente le plus de prise, et jusqu'à ce qu'il se détache. S'il se trouvait être trop fortement soudé ou trop endommagé pour qu'on pût l'enlever d'une seule pièce, il faudrait poser le creuset horizontalement sur une enclume, et le frapper vers les joints avec la tranche du marteau; alors le couvercle s'en séparerait en entraînant une partie des bords du creuset. Dans tous les cas, il est essentiel de tâcher de produire le moins possible de poussière et de menus débris qui pourraient se mélanger avec la matière de l'essai. Quand on opère dans un creuset nu, après qu'on a détaché le couvercle, on pose le creuset horizontalement sur

Ouverture des creusets.

une enclume, en le tenant de la main gauche par les bords, et on le frappe avec la tranche d'un marteau dirigée dans le sens de l'axe du creuset : de cette manière on parvient aisément, avec un peu d'habitude, à diviser celui-ci en deux parties à peu près égales, sans produire de petits fragmens ; le culot métallique se détache alors de lui-même, et les scories restent seules adhérentes au creuset. Lorsqu'on a fait l'essai dans un creuset brasqué, on en extrait la brasque peu à peu avec la pointe d'un couteau jusqu'à ce que le culot soit à découvert ; on jette celle qui provient des premières couches, mais on recueille avec soin celle qui recouvre immédiatement le culot, et on la lave par décantation, pour s'assurer qu'elle ne contient pas de grenailles, ou pour recueillir celles qui pourraient s'y trouver. Puis on retire le culot en le soulevant doucement avec la pointe du couteau ; et l'on peut même ensuite, pour plus de précaution, laver la brasque qui l'entourait.

Examen des culots.

On pèse le culot entier. Il se compose ordinairement d'un culot métallique qui occupe la partie inférieure, et d'une scorie à la surface de laquelle il y a presque toujours des grenailles adhérentes, même lorsque l'essai a parfaitement réussi. En concassant grossièrement le culot, on en sépare aisément le bouton métallique et les grosses grenailles ; mais pour séparer les petites grenailles il faut réduire le tout en poudre très fine et faire une lévigation : en prenant le poids de la partie métallique ; on a celui de la scorie par différence. Si celle-ci renfermait des grenailles dans son intérieur, il faudrait recommencer l'essai en chauffant davantage ou en changeant la proportion des réactifs, parce que ce serait une preuve que la fusion n'a pas été parfaite.

Aspect des creusets.

Après un essai à une très haute température, on remarque que les creusets, les couvercles, ainsi que l'argile qui sert de lut, sont complètement vitrifiés à la surface, et que le verre qui se produit s'amasse même dans quelques

parties en gouttes souvent assez grosses. Cette vitrification, qui n'est qu'extérieure, est due à l'action que les cendres du combustible exercent sur le silicate d'alumine, et elle est d'autant plus profonde que les cendres sont plus corrosives et plus abondantes : aussi arrive-t-il souvent que les creusets s'amincissent considérablement, et même quelquefois qu'ils sont percés et presque entièrement détruits. Quand la vitrification n'est pas trop profonde, loin d'être nuisible, elle a l'avantage de consolider l'union des diverses parties de l'appareil et de boucher les gerçures qui se forment par retrait dans les luts.

Les creusets qui restent intacts après qu'on en a détaché le couvercle, peuvent très bien servir pour de nouveaux essais ; ils sont même plus commodes que des creusets neufs, quand ils sont soudés solidement et verticalement sur leurs fromages, parce qu'alors il n'est pas à craindre qu'ils s'en détachent, comme cela arrive quelquefois pendant la dessiccation de l'argile qui sert de lut.

ARTICLE V. — *Distillation, sublimation.*

Définition. Distiller et sublimer, c'est chauffer une substance pour la vaporiser ou pour vaporiser un de ses élémens et condenser en même temps les vapeurs de manière à pouvoir recueillir le liquide et le solide qui résultent de leur condensation. On appelle l'opération *distillation*, lorsque les vapeurs se condensent à l'état liquide, et *sublimation*, quand elles se condensent à l'état solide. On dit qu'on fait une *distillation sèche*, lorsque la substance sur laquelle on opère est solide, et une *distillation humide* ou ordinaire, quand la substance est liquide. C'est dans tous les cas une calcination faite en vases clos.

§ 1er. — Emploi des cornues.

Cornues. L'appareil dont on se sert se compose le plus souvent d'un vase d'une forme particulière que l'on nomme *cornue*, dans lequel on place la substance, et d'un au-

tre vase dans lequel on condense les vapeurs, et qu'on nomme *récipient*.

Les cornues sont de la forme représentée par les Fig. 1, 2, 3, etc., Pl. III; on y distingue *a* la panse, *b* le dôme et *c* le col. On donne à la panse plus ou moins de profondeur relativement à son diamètre, selon le besoin. On se sert de cornues à panse profonde (Fig. 2) quand on veut opérer sur de grandes masses à la fois, sans être obligé d'ajouter la matière par doses successives; ou quand la matière que l'on soumet à la distillation ou à la sublimation est susceptible d'éprouver des soubresauts, de se gonfler, de se boursoufler, d'éclabousser, etc. Lorsqu'on ne peut chauffer les cornues que par-dessous, il convient de donner à la panse à peu près la forme d'une demi-sphère (Fig. 1). Le dôme doit toujours avoir pour coupe verticale un quart de cercle, afin qu'il résiste le mieux possible à la pression atmosphérique lorsque le vide s'y fait par un refroidissement intérieur. La courbure en *d* doit être bien arrondie et ne présenter ni bourrelet ni pli aigu. Quant au col, on lui donne des dimensions variées : on le fait long lorsqu'on veut que les vapeurs se condensent dans son intérieur; on lui donne un grand diamètre quand on peut craindre qu'il ne soit obstrué par les matières qui s'y condensent. Forme.

Cornues de verre. — On fait des cornues en verre, en argile, en porcelaine, en fer et en platine. Les cornues de verre sont très commodes; aussi s'en sert-on toutes les fois que l'opération n'exige pas une température trop élevée, pour la plupart des distillations, par exemple; on peut même employer les cornues de verre à une chaleur capable de leur faire éprouver un commencement de fusion, en les enduisant préalablement d'un lut convenablement appliqué. Les luts qui servent à cet usage sont faits avec des argiles liantes et infusibles mêlées soit avec du sable quarzeux, soit avec de l'argile cuite pulvérisée. Le mélange doit être tel qu'il conserve du liant et qu'il éprouve le moins de retrait possible en se séchant. Pour éviter la formation des fentes que la dessiccation Composition. Lutes.

produit toujours dans les luts lorsqu'elle n'a pas lieu avec une extrême lenteur, on mêle souvent à l'argile des substances fibreuses coupées en morceaux de 1 centimètre au plus de long, telles que du foin, de la paille, de la filasse, de la bourre, ou même du crotin de cheval : ces substances augmentent l'adhérence et rendent le retrait tellement uniforme, qu'il a lieu sans gerçures apparentes; mais comme elles se décomposent et se charbonnent par la chaleur, il ne faut les employer qu'en petite quantité; sans quoi, à une certaine époque de l'opération, le lut deviendrait très poreux et pourrait perdre toute sa consistance.

Application des luts.

On applique le lut sur les cornues de deux manières : 1° on en fait une pâte un peu liquide, on en étend une couche mince, mais d'une épaisseur partout égale, sur la cornue; on laisse sécher cette couche lentement à l'air; quand elle est sèche, on en applique une seconde par-dessus, en ayant grand soin de remplir exactement toutes les gerçures; on fait encore sécher, et l'on applique de nouvelles couches si cela est nécessaire pour que le lut ait l'épaisseur convenable; on mesure cette épaisseur au moyen d'une épingle; on a rarement besoin de lui donner plus de 1 centimètre. On achève la dessiccation dans un lieu chaud, ou même sur un bain de sable, et enfin on bouche soigneusement, avec le même lut, les fentes qui ont pu se former. 2°. On fait avec le lut une pâte tenace, ductile et bien homogène, on l'aplatit de manière à en former une masse d'épaisseur et de grandeur convenables pour couvrir la cornue qu'on veut en revêtir; on enduit celle-ci d'une légère couche d'argile délayée dans de l'eau, on la place au centre de la masse de lut, et l'on relève ce lut avec les mains sur les parois de la cornue, contre lesquelles on le presse en tous sens en ayant soin de bien souder les bords entre eux, et l'on fait sécher comme il a été dit ci-dessus. S'il se faisait quelques soufflures, il faudrait les percer avec une épingle, afin de donner issue à l'air. Lorsque la grandeur de la cornue exige

l'application de plusieurs morceaux de lut, il faut mettre le plus grand soin à bien réunir ces morceaux ensemble, en interposant entre eux un enduit mince de lut clair. Le lut appliqué par ce second moyen prenant moins de retrait que le lut clair, est moins sujet à se fendre; mais il est plus difficile de le faire adhérer à la cornue. On rend les luts moins sujets à se fendre en les enduisant d'une couche d'huile après qu'on les a fait sécher. Quelquefois on enveloppe avec une bande de toile grossière ou avec de la filasse le lut fraîchement appliqué et non desséché, et l'on met par-dessus un peu de lut délayé, puis on fait sécher lentement : on évite par ce moyen la formation des gerçures.

Les cornues de verre bien lutées peuvent supporter un assez grand feu, parce que le verre, quoique fortement ramolli, conserve sa forme à la faveur de l'enveloppe d'argile, et que d'un autre côté celle-ci, quoiqu'en se contractant beaucoup, ne se fend pas, parce que le verre ramolli cède à la force de contraction.

Cornues d'argile. — Les cornues d'argile se font avec les mêmes matières que les creusets, mais elles doivent remplir une condition essentielle que n'exigent pas ordinairement ceux-ci, c'est d'être absolument imperméables aux gaz : pour cela il faut que la pâte avec laquelle on les fabrique soit bien serrée, qu'elles aient été chauffées de manière à être ce qu'on appelle *cuites en grès*, ou bien, si elles sont poreuses, il faut qu'elles soient enduites intérieurement d'un vernis vitreux. Le plus ordinairement on fait usage de cornues cuites en grès : mais ces cornues cassent facilement par les changemens brusques de température, ou même pendant qu'on les chauffe, si elles sont touchées dans quelques parties par un corps froid, tel que du charbon noir, par exemple; on les rend moins fragiles et d'un usage plus commode en les couvrant d'une couche de lut argileux comme les cornues de verre. Cuites en grès.

On peut rendre les cornues poreuses imperméables aux Vernissées.

gaz au moyen de vernis fusibles appliqués extérieurement. Il suffit quelquefois pour cela de les humecter avec une dissolution de borax ; mais le plus souvent il est nécessaire de les recouvrir d'une couche de vernis plus épaisse. Les principaux vernis dont on peut se servir sont : 1°. un mélange d'environ 9 parties d'argile et 1 partie de borax en poudre ; on en fait une pâte épaisse avec de l'eau, et l'on applique cette pâte sur la cornue, avec une brosse ; on fait varier d'ailleurs la proportion relative d'argile et de borax selon le degré de fusibilité que l'on veut donner au vernis ; 2°. un mélange de 1 partie de borax et de 2 parties de verre ordinaire réduit en poudre, qu'on humecte avec un peu d'eau. 3°. M. Willis dissout 1 partie de borax dans 16 parties d'eau bouillante, et ajoute à la dissolution autant de chaux vive qu'il est nécessaire pour faire une pâte liquide ; il étend cette pâte sur la cornue avec une brosse, et lorsqu'elle est sèche, il applique par-dessus une couche de chaux délayée dans de l'huile, en battant le mélange jusqu'à ce qu'il soit devenu plastique. Quel que soit, au surplus, le vernis que l'on emploie, il ne rend la cornue imperméable qu'au moment où il entre en pleine fusion ; lors donc qu'on tient à ne pas perdre la plus petite quantité des vapeurs qui doivent se produire dans l'essai, il faut préalablement chauffer la cornue qui doit servir, à une chaleur suffisante pour fondre le vernis, la laisser refroidir avec précaution, et ne l'employer que si la couche vitreuse qui la recouvre alors ne présente aucune solution de continuité.

Vernis.

Les cornues de porcelaine sont garnies intérieurement d'un vernis vitreux fait avec du pétunzé : elles sont parfaitement imperméables, et peuvent supporter une chaleur très forte ; mais il faut les chauffer graduellement et avec grande précaution, surtout au commencement de l'opération, pour éviter qu'elles ne se fêlent. Si elles n'étaient pas vernissées, elles seraient capables de contenir les matières fondues et même l'eau ; mais elles seraient traversées par les gaz et par les vapeurs.

Porcelaine.

On fabrique ordinairement les cornues d'argile, dont le col est court, en les façonnant à la main et en les évidant avec un crochet en fer; aussi leur intérieur est-il inégal et souvent raboteux. Les cornues de porcelaine se font au moule et se composent de deux pièces, qu'on juxta-pose ensuite, avec le plus grand soin, l'une contre l'autre dans le sens de l'axe, et pendant qu'elles sont encore molles (Fig. 3). Quelque précaution que l'on prenne, il arrive assez fréquemment que la soudure de ces deux pièces ne s'effectue pas exactement, et que celles-ci se séparent, du moins en partie, par l'action de la chaleur. M. Beaufay a imaginé un mode de fabrication des cornues qui est exempt de cet inconvénient, et qui présente néanmoins tous les avantages du moulage. Il consiste à faire avec une toile serrée, mais flexible, un sac qui, étant enflé, prenne exactement la forme que l'on veut donner intérieurement à la cornue; à remplir ce sac de sable, à le nouer fortement à son orifice, et à s'en servir comme d'un moule sur lequel on applique la pâte argileuse. Quand l'argile a acquis par la dessiccation assez de consistance pour qu'elle ne puisse plus se déformer par la pression, on fait sortir le sable, et on peut retirer le sac de toile sans difficulté, si l'on a eu la précaution de le saupoudrer, avant de s'en servir, avec un peu d'argile pulvérisée ou avec du charbon. Le même sac peut servir pour fabriquer un grand nombre de cornues. Fabrication.

En introduisant dans la cornue la matière que l'on doit soumettre à un essai, il faut faire en sorte qu'il ne s'en attache pas quelque portion dans le col, surtout si les vapeurs doivent se condenser dans cette partie, parce que, dans ce cas, la matière recueillie ne serait pas pure. Pour cela, toutes les fois qu'on le peut, on emploie la substance en petits morceaux, ou du moins en poudre grossière débarrassée, par le tamisage, de la poudre fine qui pourrait rester adhérente aux parois du col. Quand la substance est en poudre fine ou quand elle est liquide, on l'introduit dans la panse de la cornue au moyen d'un Remplissage des cornues.

Entonnoir à longue tige.

entonnoir dont la tige est assez longue pour qu'elle puisse pénétrer jusqu'au fond de la cornue (Fig. 4).

Cornues tubulées.

Il y a des cornues de verre dont le dôme est muni d'une tubulure (Fig. 5), qui sont très commodes pour introduire la matière à essayer sans salir le col. On pourrait adapter de pareilles tubulures à des cornues d'argile et de porcelaine, mais on n'a pas encore imaginé de le faire. On ferme ces tubulures avec des bouchons de liége ou avec des bouchons de verre usés à l'émeril, et on garnit la jointure avec un lut solide.

Cornues de métal. — Les cornues de métal sont en plomb, en fonte ou en platine. Elles sont faites de deux pièces qui s'emboîtent exactement l'une dans l'autre (Fig. 6): on garnit la jointure avec de l'argile lorsqu'on veut s'en servir. Les cornues de fonte servent pour distiller les minerais de mercure; cependant on en fait rarement usage dans les essais.

Placement des cornues.

Opération. — Pour faire les distillations et les sublimations, on chauffe les cornues dans des fours à réverbère (Fig. 7), en les plaçant soit sur un fromage, soit dans un creuset aux trois quarts rempli de sable, soit sur des barres de fer qui traversent le fourneau : ce dernier moyen de supporter les cornues ne peut pas être employé quand l'opération nécessite une chaleur forte et soutenue pendant long-temps, parce que l'oxide de fer qui se forme sans cesse à la surface des barres réagit sur la matière de la cornue, la fait fondre, et finit par la corroder entièrement.

Opération.

Pour qu'une distillation ou une sublimation s'effectue le plus promptement possible et avec la moindre dépense de combustible, on conçoit qu'il est nécessaire que chaque molécule, une fois vaporisée, soit conduite dans l'espace où elle doit se condenser, pour être recueillie, et qu'elle ne puisse pas retomber dans la panse. Pour que cette condition soit remplie, il faut que le dôme se trouve échauffé à une température au moins égale à celle à laquelle les vapeurs se constituent : s'il en était autrement, les vapeurs qui toucheraient les parois du

dôme, et même une partie de celles qui rempliraient la cornue, se condenseraient et retomberaient dans la panse pour se vaporiser de nouveau; en sorte qu'une assez grande partie de la matière se vaporiserait et se condenserait ainsi alternativement un grand nombre de fois, sans utilité, avant de passer dans le col et dans le récipient. On observe aisément cet effet lorsqu'on distille un liquide, en ne le chauffant que par-dessous; on voit la cornue se remplir d'une pluie fine, et les gouttes qui proviennent de la condensation de la vapeur ruisseler sur les parois du dôme, et retomber dans le bain. Dans les opérations qui se font à une température élevée, on chauffe la cornue par-dessous et par-dessus, ou plutôt on l'enveloppe de toutes parts de combustible enflammé; en sorte que le dôme se trouve à une température très peu différente de celle de la panse; mais dans les opérations qui n'exigent qu'une faible chaleur, comme dans la plupart des distillations, on ne chauffe ordinairement que par-dessous : dans ce cas, pour maintenir le dôme à la température la plus élevée possible, il faut munir le fourneau de son *laboratoire complet*. Quand on chauffe une cornue par-dessous, on peut ou la placer à nu à quelque distance au-dessus du feu, ou l'enfoncer dans un bain de sable : elle s'échauffe beaucoup plus vite par le premier moyen, mais elle s'échauffe plus uniformément dans le bain de sable, et cela présente souvent de grands avantages; nous n'entrerons dans aucun détail à cet égard, parce que ce que nous aurions à dire ne s'appliquerait qu'aux distillations des liquides, qu'on n'a presque jamais occasion de pratiquer dans les essais par la voie sèche. Les cornues de verre non lutées, que l'on ne pourrait pas mettre au milieu des charbons sans risquer de les fondre ou de les casser, peuvent être chauffées à la fois en-dessous et en-dessus, en plaçant du charbon allumé sur une grille placée presque immédiatement sur le dôme (Fig. 8) : on peut même les chauffer à la moitié de leur hauteur, ou à peu près au niveau de la surface de la matière qu'elles con-

tiennent, en plaçant à cette hauteur une grille que la cornue traverse, et sur laquelle on met du combustible : la distillation marche très vite de cette manière, et souvent même il y a avantage à porter principalement le feu sur le pourtour, et à ne chauffer que très modérément par-dessous. Dans tous les cas, il faut avoir grande attention de faire en sorte qu'aucun charbon ne touche à la cornue.

Condensation des vapeurs. — La condensation des vapeurs qui résultent d'une distillation ou d'une sublimation a souvent lieu complètement dans le col de la cornue, quand ce col est suffisamment long, et quand on n'opère pas sur de grandes quantités. Si la matière condensée est solide, elle se dépose sur les parois du col, sous forme d'une poudre ou de grains cristallins; si elle est liquide, elle se répand en gouttelettes qui se réunissent peu à peu, et ruissèlent vers la partie inférieure du col; et si le liquide condensé est en quantité un peu grande, il finit par s'écouler par le bec : dans ce cas on peut le retenir dans le col en courbant un peu celui-ci vers son extrémité (Fig. 9).

Fin de l'opération.

Quand l'opération est terminée, on sépare de la cornue toute la partie du col dans laquelle les vapeurs se sont condensées, et l'on en détache la matière, ou bien on pèse cette partie avant et après en avoir enlevé la matière pour avoir le poids de celle-ci par différence. Lorsque l'on peut craindre que quelques vapeurs ne sortent de la cornue et ne se perdent, on adapte au col une allonge (Fig. 10) dans laquelle elles se condensent.

Récipients.

Quand pour condenser les vapeurs il est nécessaire de les refroidir beaucoup, on les reçoit dans un récipient que l'on entretient constamment à une température suffisamment basse. On emploie pour récipiens des tubes, des ballons (Fig. 11), des fioles à médecine, etc. Tantôt on met dans le récipient de l'eau qui par son contact condense la vapeur; tantôt on refroidit le récipient à l'extérieur. On se contente souvent d'introduire le col de la cornue dans le récipient; cependant il est

quelquefois nécessaire de garnir les jointures avec un lut, afin qu'il ne se perde pas la plus petite quantité de vapeur; mais il faut toujours laisser au récipient une issue par laquelle l'air dilaté et les gaz permanens puissent s'échapper, en adaptant à cette issue un tube droit en verre long et étroit dans lequel se condensent les dernières traces de vapeur que les gaz pourraient entraîner (Fig. 11). D'autres fois on dispose l'appareil comme dans la Fig. 12 : le col du ballon tubulé est situé en-dessous et plonge dans un vase qui contient un peu d'eau; les gaz dilatés par la chaleur s'échappent en surmontant la pression de l'eau, et quand il y a raréfaction, l'air rentre après avoir fait monter le liquide dans le récipient.

§ 2. — Moyens de recueillir les gaz.

Dans les opérations de distillation et de sublimation il se produit quelquefois des gaz permanens en même temps que des vapeurs condensables, par exemple dans la distillation des matières combustibles : on recueille ces gaz en les faisant passer, à l'aide de tubes en verre recourbés, dans des cloches ou des flacons placés sur une cuve pneumatique (Pl. IV, Fig. 1, 2 et 3). La meilleure manière de disposer l'appareil est celle qui a été employée par MM. Gay-Lussac et Liebig, et qui est représentée dans la Fig. 4, Pl. IV. C'est une cloche à pied, *a b*, dans laquelle sont mastiqués, l'un en *a* et l'autre en *b*, deux anneaux ou collets ouverts en liége, destinés à diriger la petite cloche graduée *c*, dans ses mouvemens. Le tube *d*, qui doit conduire les gaz dans la cloche graduée, a deux branches verticales parallèles, dont l'ascendante touche presque le sommet de la cloche graduée lorsqu'elle est au plus bas de sa course, et dont l'autre passe en dehors de la cloche graduée, entre les deux ouvertures des anneaux de liége (Fig. 4). La cloche à pied étant remplie de mercure, et la branche ascendante du tube conducteur engagée dans la cloche graduée, on enfonce celle-ci dans le mercure, et l'air s'échappe à mesure par le tube conducteur. On fixe

la cloche dans sa nouvelle position, en appliquant sur son sommet, au moyen d'un bouchon de liége fixé dans une main de bois *h*, glissant le long d'une tige verticale *i*, sur laquelle elle peut être arrêtée en un endroit quelconque par une vis de pression *k*. On soutient le tube conducteur, quand cela est nécessaire, entre les deux mâchoires du support en bois *l*, qui se rapprochent au moyen d'une vis, et s'écartent par leur propre ressort. On met exactement le mercure de la cloche graduée de niveau avec celui qui forme le bain, et l'on note le volume qu'occupe l'air dans la cloche graduée, ainsi que la température à laquelle il se trouve. Les gaz qui se dégagent dépriment le mercure dans la cloche graduée; mais, en faisant glisser convenablement la main de bois le long de sa tige, on maintient à peu près le mercure à son niveau primitif, en ajoutant toutefois du mercure pour remplir l'espace que laisse la cloche en sortant du bain, et on observe la température. Il est clair que le volume d'air contenu dans la cloche graduée après l'opération, moins celui qui y était contenu avant, représente exactement le volume de gaz qui est le résultat de l'opération, en supposant que l'on ait fait les corrections de température et de pression barométrique; mais comme les opérations ne sont jamais très longues, on a rarement besoin de faire ces corrections.

Luts. — Il est souvent nécessaire que les diverses parties dont se compose un appareil distillatoire ou sublimatoire soient unies entre elles de telle manière qu'il ne puisse s'échapper aucun gaz par les jointures; on remplit cette condition en garnissant ces jointures par des luts appropriés. On se sert pour cela de différens luts; voici les principaux : 1° le *lut gras*. On le prépare en battant de l'argile desséchée, réduite en poudre fine, avec de l'huile de lin siccative, jusqu'à ce que le mélange forme une pâte ductile. La partie sur laquelle on veut l'appliquer doit être préalablement bien séchée et bien essuyée, afin que l'adhérence soit parfaite.

2°. Le *ciment romain* ou chaux sur-hydraulique. On

la conserve en poudre dans des flacons bien bouchés, et on ne l'éteint qu'au moment même où l'on veut s'en servir.

3°. Le *plâtre* gâché avec de l'eau, du lait, une dissolution étendue de colle-forte ou de l'eau d'amidon. Ces trois luts peuvent supporter la chaleur rouge sombre. On rend les deux derniers parfaitement imperméables en les enduisant d'huile ou d'un mélange d'huile et de cire.

4°. La *farine de graine de lin* ou la *pâte d'amande*. On les pétrit dans un mortier avec de l'eau, du lait, de l'eau de chaux, une dissolution de colle-forte, ou avec de l'empois. Ce lut est bien ductile et parfaitement imperméable; mais il ne supporte pas une chaleur de plus de 300°.

5°. La *chaux vive* ou *lut d'âne*. On ajoute à la chaux la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en poudre sèche, on la mélange intimement et rapidement avec un blanc d'œuf délayé dans son volume d'eau, on l'étend immédiatement sur des bandes de toile que l'on applique sur les jointures, et on le saupoudre avec de la chaux vive. Au lieu de blanc d'œuf, on emploie quelquefois avec la chaux du fromage blanc, une dissolution de colle modérément saturée, du sang, etc. Ce lut contracte promptement une grande dureté et adhère fortement au verre; mais il a le défaut de n'être pas flexible.

6°. Le *blanc de plomb* mêlé avec de l'huile. On l'applique sur des bandes de toile ou sur des faisceaux de filasse; il produit à peu près le même effet que les luts de chaux.

7°. La *cire jaune* peut souvent servir de lut, mais elle a le défaut de devenir cassante à une température basse : on la rend moins cassante et en même temps plus fusible en la mêlant avec le huitième de son poids de térébenthine commune.

8°. Le *mastic mou*. On le prépare avec de la cire jaune que l'on fait fondre avec la moitié de son poids de térébenthine, et un peu de rouge de Venise pour lui

donner de la couleur : il est flexible et il prend entre les doigts toutes les formes que l'on désire.

9°. Le *lut résineux*. On fait fondre ensemble, à la température la plus basse possible, 1 partie de cire jaune avec 4 à 5 parties de résine. On introduit par petites portions dans le mélange fondu 1 partie d'ocre rouge en poudre ou de brique pilée, et on laisse pendant quelques instans la température s'élever un peu au-dessus de 100°, et jusqu'à ce que la matière ne donne plus d'écume, et n'éprouve plus d'agitation, puis on la laisse refroidir en la remuant continuellement. On emploie ce lut à chaud. Il est excellent pour fixer les viroles de cuivre, etc.

10°. Le *papier collé*. On prend une feuille de papier brouillard ou de papier à filtrer un peu épais; on applique dessus une couche de colle d'amidon avec un pinceau, et de manière à bien imbiber le papier : on coupe celui-ci en bandes, et l'on pose ces bandes autour des jointures, en leur faisant faire plusieurs tours.

Souvent on met des bandes de papier collé par-dessus d'autres luts, pour maintenir ceux-ci et les rendre plus imperméables. On peut préparer ce papier à l'avance et le laisser sécher; il suffit, quand on veut s'en servir, de l'humecter et de le laisser s'imbiber pendant quelque temps.

11°. La *colle* que l'on emploie pour appliquer les étiquettes sur le verre peut aussi être employée comme lut. C'est de la colle de poisson dissoute dans du vinaigre très fort, et de consistance telle qu'elle se prenne par le refroidissement : on y ajoute un peu d'alcool pour l'empêcher de se corrompre, et on la conserve dans des flacons bien bouchés. Pour s'en servir on en fait chauffer une certaine quantité sur une spatule, à la flamme d'une bougie, et on l'étend sur du papier.

12°. *Vessies*. On se sert fréquemment de vessies découpées en bandes pour garnir les jointures des appareils ou pour recouvrir les luts lorsque la pression des gaz est considérable. On laisse tremper les bandes dans l'eau

jusqu'à ce qu'elles soient devenues visqueuses, et on les applique en les pressant avec la main comme du papier collé ; elles adhèrent très fortement au verre et à la poterie : on augmente encore leur adhérence en les enduisant d'une légère couche de blanc d'œuf. Enfin, on donne au lut toute la solidité possible en assujettissant les bandes de vessie avec de la ficelle ou du gros fil.

Tuyaux de caoutchou.

13°. *Caoutchou.* Les tuyaux de caoutchou fournissent un moyen très commode de joindre les unes aux autres les différentes parties d'un appareil, et ils ont, à cause de leur flexibilité, le grand avantage de permettre à ces différentes parties d'éprouver de petits mouvemens, les unes par rapport aux autres, sans qu'on ait à craindre de perdre des gaz. Le caoutchou est d'ailleurs une des substances les moins altérables que l'on connaisse, par les gaz et par les vapeurs ; le chlore lui-même ne l'attaque que lentement. Il a la propriété de se souder exactement sur lui-même dans les coupures fraîches. De là le moyen de le façonner en tuyaux. Pour cela on prend une feuille de caoutchou d'environ 2 à 3 millimètres d'épaisseur ; on en coupe un morceau de dimensions convenables, on le fait chauffer légèrement jusqu'à ce qu'il soit devenu mou et flexible, puis on l'applique autour d'un baguette de verre ; on presse fortement avec les doigts les bords du caoutchou qui dépassent le contour de la baquette : on les coupe avec des ciseaux bien aiguisés et très propres, et en les mettant sur-le-champ en contact, et les pressant avec l'ongle du pouce sur chacun des côtés, on les fait adhérer de telle sorte que la soudure n'est pas même apparente, et que, quand le tube est soumis à une pression extérieure trop forte, il se déchire souvent ailleurs que dans les parties soudées. Pour pouvoir retirer facilement la baguette de verre qui sert de moule, il faut avoir l'attention de ne pas serrer trop fortement le caoutchou qui doit faire le tuyau. Au lieu d'une baguette de verre pleine, on peut employer un tube creux et mince que l'on brise

quand la soudure est faite, et dont on retire facilement les débris du tuyau. Lorsqu'on ne peut pas se procurer de caoutchou en feuilles, il faut se servir de gomme élastique ordinaire. On choisit pour cela les bouteilles les plus minces, en ne prenant que les parties les plus aplanies, et dont l'épaisseur est le plus uniforme. On les ramollit en les exposant à la chaleur pendant quelques heures, et en les malaxant de temps en temps, ou bien en les tenant pendant une demi-heure dans de l'eau bouillante; après quoi on les dessèche complètement et on les façonne en tuyaux. Lorsqu'on éprouve quelques difficultés à les souder, on les chauffe sur la baguette à une chaleur très modérée. On peut encore faciliter la soudure au moyen d'une dissolution de caoutchou faite dans un liquide très volatil, tel que l'éther, et mieux encore l'huile de naphte, qui en dissout beaucoup plus. Pour préparer ces dissolutions, on fait bouillir le caoutchou dans l'eau, on le coupe en petits morceaux que l'on fait bouillir de nouveau, on le comprime pour le sécher, et on le met ensuite digérer dans le dissolvant.

Au moyen de ces dissolutions on peut préparer des tuyaux de caoutchou fort longs avec des lanières étroites, en opérant de la manière suivante. On prend une lanière récemment coupée, on l'enroule autour d'une baguette de verre, en rapprochant les bords de manière à ce qu'ils se touchent exactement, on fait bouillir le tout dans l'eau pour ramollir, on essuie, et on enduit la baguette avec une dissolution de caoutchou qui opère la soudure de toutes les parties mises en contact les unes avec les autres.

On fait des tuyaux de caoutchou de telle longueur qu'on le désire, en unissant par leurs extrémités, coupées fort net avec un couteau bien aiguisé, un certain nombre de tuyaux plus courts.

On fait aussi des tuyaux de toutes dimensions avec de la toile imprégnée de caoutchou liquide. Ces tuyaux sont employés pour fabriquer différens instrumens de chirurgie.

Il est bon d'avoir à sa disposition des tuyaux tout

préparés de diverses dimensions, depuis 2 jusqu'à 5 centimètres de longueur, et depuis 5 jusqu'à 12 millimètres de diamètre. Il faut aussi en avoir quelques uns de forme conique.

Lorsque l'on veut réunir deux tubes de verre au moyen d'un tuyau de caoutchou, on prend un tuyau d'un diamètre à peu près égal à celui du tube, parce qu'à raison de son élasticité, il s'élargit facilement; on y introduit l'extrémité de chaque tube, que l'on y fait pénétrer de 5 à 6 millimètres seulement, et on l'attache avec deux ou trois tours de fil que l'on ne serre que suffisamment pour empêcher la fuite des gaz, sans quoi on s'exposerait à couper le caoutchou.

14°. *Carton huilé.* A défaut de caoutchou, on pourrait se servir de tuyaux de carton imbibé d'huile. On prépare ces tuyaux en roulant sur une baguette de verre trois ou quatre épaisseurs de papier enduit de colle, et on les couvre ensuite d'une couche d'huile appliquée au pinceau, ou d'une couche de cire fondue qui en bouche exactement tous les pores.

§ 3. — Condensation des vapeurs.

La condensation des vapeurs qui proviennent d'une distillation ou d'une sublimation a lieu quelquefois naturellement par le simple effet du refroidissement que produit le contact de l'air atmosphérique ; mais le plus souvent il faut refroidir artificiellement ces vapeurs pour que leur condensation soit complète et qu'il ne s'en perde pas. On détermine ce refroidissement soit en mettant immédiatement en contact ces vapeurs avec de l'eau, quand elles ne sont pas susceptibles de se combiner avec ce liquide; soit, dans le cas contraire, en arrosant le récipient avec de l'eau froide, ou en le tenant plongé dans des mélanges frigorifiques. Il serait hors de propos d'entrer ici dans des détails sur ce sujet; nous nous contenterons de quelques indications générales. On se contente quelquefois, par exemple pour distiller des matières mercurielles, de plonger en partie le bec de la cornue, et de manière à ne

pas en boucher complètement l'orifice (Fig. 5), dans une capsule ou dans tout autre vase contenant de l'eau; on facilite la condensation en plaçant dans le bec de la cornue un nouet de linge qui pénètre un peu dans le col, d'une part, et qui de l'autre plonge dans l'eau; de cette manière il se forme de la vapeur d'eau qui, en se mêlant avec les vapeurs du mercure, détermine la liquéfaction de celles-ci.

Pour refroidir les récipiens par le moyen de l'eau, on les tient en partie plongés dans ce liquide, que l'on a soin de renouveler à mesure qu'il s'échauffe, afin de le maintenir à une température égale; ou bien on fait affluer sur un ou plusieurs points de ce récipient un courant d'eau continu. On obtient commodément un pareil courant au moyen d'un siphon en verre, d'un calibre convenable, placé dans un flacon ou dans une terrine contenant de l'eau; le courant n'est pas uniforme, puisque sa vitesse doit diminuer à mesure que le niveau de l'eau s'abaisse, mais cela est sans inconvénient; au surplus, on peut le rendre presque uniforme en se servant, pour contenir l'eau, d'un vase très large et peu profond. Si l'on voulait que l'eau ne tombât que goutte à goutte, on pourrait se servir d'un filtre de papier épais, que l'on placerait dans un entonnoir et que l'on remplirait d'eau (Fig. 8).

Siphon.

Filtre.

Il est d'ailleurs facile de se procurer un courant continu et uniforme, au moyen de l'appareil (Fig. 6), que l'on emploie fréquemment dans les laboratoires, pour arroser les filtres. C'est un flacon dont le goulot, un peu large, peut être fermé hermétiquement par un bouchon de liége. Ce bouchon porte trois ouvertures: la première, *b*, peut se fermer à volonté, à l'aide d'un petit bouchon de verre; on fait passer à travers la seconde, *c*, un tube de verre creux; et l'on adapte hermétiquement à la troisième, *d*, un siphon aussi en verre, d'un calibre convenable, et dont l'extrémité de la grande branche atteint presque le niveau du fond du flacon. L'écoulement de l'eau a lieu d'une manière continue et uniforme par ce siphon, jusqu'à ce que l'eau soit descendue au niveau de

Vase de Mariotte.

la petite branche. La vitesse de l'écoulement est celle due à la hauteur *ef*, et le volume d'eau qui s'écoule dans un temps donné, dépend de cette hauteur et du diamètre de l'orifice du siphon. Pour faire fonctionner cet appareil, on remplit presque entièrement le flacon d'eau par l'ouverture *b*, que l'on ferme ensuite hermétiquement avec son bouchon, et on aspire par le siphon. Son effet est facile à concevoir : après qu'il s'est écoulé par le siphon une certaine quantité d'eau très petite, l'air contenu dans le flacon, en *g*, se dilate de telle manière que sa pression, jointe à celle de la colonne d'eau *ge*, devient égale à celle de l'atmosphère; l'écoulement continuant, la pression atmosphérique devient prépondérante, et l'air extérieur pénètre dans le vase par le tube *ce*, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli; d'où il suit que, pendant tout l'écoulement, il rentre à chaque instant dans l'appareil une quantité d'air telle, que la pression sur l'eau au niveau *ef* est constamment égale à la pression atmosphérique, ou que cette pression est égale à celle qui aurait lieu si, le vase étant ouvert, la masse d'eau *ge* n'existait pas; l'écoulement de cette masse n'a donc lieu qu'en vertu de la différence de longueur des deux branches du siphon. On peut donner à la grande branche telle longueur que l'on veut; mais nous avons conseillé de ne la pas faire descendre à un niveau plus bas que le fond du flacon, afin qu'on ait la facilité de poser l'appareil sur une table sans être obligé de le démonter. Si l'on se servait d'un flacon muni d'une tubulure à robinet à sa partie inférieure (Fig. 7), la vitesse de l'écoulement serait due à la hauteur *eh*, et il suffirait pour la faire varier à volonté, d'enfoncer ou de retirer le tube *ce* plus ou moins.

Précautions. On dirige le courant d'eau refroidissante sur telle ou telle partie du récipient, selon le besoin; souvent même on le fait tomber immédiatement sur le col de la cornue; dans ce cas il faut avoir grande attention de ne pas le trop approcher du dôme, parce que, cette partie étant très chaude, la cornue se briserait presque infaillible-

ment. Il faut aussi disposer les choses de telle manière que l'eau se répande uniformément sur une grande surface, et qu'elle ne puisse pas s'introduire dans le récipient par les jointures. On oblige l'eau à se répandre sur la surface du récipient, par exemple sur le col d'une cornue, en couvrant cette surface avec du papier ou du linge, qui absorbe l'eau par voie capillaire; et on empêche l'eau d'arriver jusqu'à la jointure, au moyen d'un nouet de filasse que l'on place autour du col, en *b* (Fig. 8). On rend la dispersion de l'eau encore plus égale sur le col de la cornue, au moyen d'un morceau de papier à filtrer, comme l'indique la Fig. 8, et placé de telle manière que les deux plis inférieurs posent sur la surface mouillée : le papier venant à absorber l'eau, les deux rebords s'abaissent, et s'adaptent sur la surface humide, à laquelle ils adhèrent, tandis que la portion du milieu reste en forme de toit, et sert de canal par lequel l'eau tombe goutte à goutte et s'écoule sur le col de la cornue.

§ 4. — Sublimation dans des matras, des capsules ou des creusets.

Matras à sublimer. — Pour sublimer les substances qui se vaporisent à une température peu élevée, et qui se condensent aisément, on se sert souvent, dans les fabriques et dans les laboratoires, de vases en verre (Fig. 9) qui ont à peu près la forme d'une fiole à médecine, et que l'on appelle *matras à sublimer*. La matière est placée au fond du vase, et les vapeurs se condensent sur les parois supérieures et dans le col; elles y forment un dépôt ordinairement cristallin, et dont l'épaisseur augmente à mesure que l'opération avance. On cesse de chauffer, ou bien on enlève le vase avant que le col soit complètement obstrué; sans quoi il pourrait y avoir rupture par l'effet de la pression intérieure de la substance réduite en vapeurs. Pour recueillir la matière sublimée on casse le matras, et l'on parvient aisément, avec quelque adresse, à éviter de mélanger le résidu avec la partie purifiée. Si l'on craignait qu'il ne se perdît quelques vapeurs dans l'atmosphère, il faudrait, pour recueillir ces vapeurs,

adapter au matras un large tube recourbé dont on introduirait l'extrémité dans un ballon.

On chauffe ces matras à feu nu ou au bain de sable. Opération. Quand on opère à feu nu, il est bon de les enduire d'un lut argileux; mais il est préférable de les chauffer au bain de sable sans les luter : on enfonce dans le sable la partie qui contient le masse à sublimer, et la condensation se fait facilement dans la partie supérieure, parce que cette partie est constamment refroidie par le courant de l'air atmosphérique, qui dans ce cas n'est pas mélangé avec les vapeurs chaudes émanant du foyer, comme quand on opère à feu nu.

Capsules. — Les sublimations qui ne nécessitent pas une chaleur plus forte que celle d'une lampe à huile, se font très commodément en mettant la substance dans une capsule que l'on couvre avec une autre capsule contenant de l'eau, que l'on maintient à une température basse en la renouvelant ou en y mettant de la glace. Les vapeurs qui s'élèvent de la capsule échauffée se condensent sur le fond de la capsule qui sert de couvercle. Les capsules peuvent être en porcelaine ou en platine : on peut aussi renverser la capsule supérieure; alors elle doit être métallique, et on la refroidit en l'humectant avec un linge mouillé.

Creusets. — Enfin, on peut encore effectuer la sublimation dans des creusets; mais alors on ne doit pas chercher à doser la substance sublimée, si ce n'est approximativement, parce qu'il est impossible qu'il ne s'en perde une certaine quantité à l'état de vapeurs. On place la matière dans un creuset, et l'on couvre celui-ci avec un creuset plus grand et renversé; on chauffe le creuset inférieur seulement, et les vapeurs se condensent dans le creuset supérieur.

ARTICLE IV. — *Opérations qui se font dans des tubes à fourneaux.*

On fait maintenant un très grand usage, pour les recherches chimiques, de tubes de différentes sortes, que

l'on chauffe à une température plus ou moins élevée, et à travers lesquels on fait passer des courans de gaz ou de vapeurs; ces gaz ou ces vapeurs sont destinés à réagir sur une substance solide que l'on place dans le tube; s'il se produit, par la réaction, des substances volatiles, ces substances sont entraînées par le courant, et on les recueille dans des récipiens convenables. Quoiqu'on ne pratique pas ces opérations dans les essais proprement dits, comme il faut nécessairement y avoir recours pour obtenir certains métaux à l'état de pureté, ou pour préparer les composés desquels on peut extraire ces métaux, nous croyons devoir en faire brièvement mention.

Nature des tubes.

Les tubes dont on se sert sont en verre, en argile cuite, en porcelaine ou en fer; ils doivent remplir les mêmes conditions que les cornues, c'est-à-dire qu'ils doivent être imperméables, soit par leur propre nature, soit au moyen des luts dont on les enduit. On lute toujours les tubes de porcelaine et de fer, quoiqu'ils soient imperméables par eux-mêmes, les premiers parce qu'ils sont très sujets à se casser par le contact de la flamme; les seconds parce que, s'ils n'étaient pas exactement revêtus d'une enveloppe terreuse, ils seraient très promptement oxidés et détruits par le courant d'air chaud qui traverse le foyer.

Tubes lutés.

Tubes de verre. — On lute aussi les tubes en verre quand ils doivent être exposés à une chaleur très forte; mais si la température ne dépasse pas celle à laquelle ils commencent seulement à se ramollir, on les emploie très souvent à nu, parce que de cette manière on a l'avantage, qui est souvent très grand, de pouvoir observer les phénomènes qui ont lieu dans leur intérieur pendant la réaction; on peut d'ailleurs les préserver de l'action immédiate du feu et conserver la faculté de voir ce qui se passe dans leur intérieur, en les plaçant sur un demi-cylindre de fer-blanc et laissant la partie supérieure découverte. Mais lorsqu'il n'est pas nécessaire de voir dans l'intérieur des tubes, et qu'on doit les chauffer jusqu'à

ramollissement, il est bon, quand on ne les lute pas, de les consolider en les enveloppant entièrement avec une feuille de cuivre. Cette enveloppe les soutient lorsquils éprouvent un commencement de fusion, les empêche de se déformer et de se boursoufler par l'effet de la pression intérieure des gaz, et contribue à les maintenir à une température uniforme dans toute leur longueur. La feuille de cuivre doit être aussi mince que du papier très fin. On commence par en faire un rouleau que l'on chauffe au rouge brun, pour ôter au cuivre la raideur que lui donne le laminoir; puis, lorsqu'il est refroidi, on le déploie, et l'on en coupe une bande de 3 à 4 centimètres de longueur, que l'on enroule en spirale sur les tubes, et que l'on assujettit solidement, au moyen d'un fil métallique très fin.

Verre blanc et à bouteilles.

Les meilleurs tubes de verre que l'on trouve dans le commerce sont en verre blanc ou en verre à pivette : il vaudrait beaucoup mieux les faire en verre à bouteilles, parce qu'ils seraient beaucoup moins fusibles; mais on ne peut pas s'en procurer de cette nature. On leur donne rarement plus de 1 centimètre de diamètre; s'ils étaient plus larges, ils se fondraient avant que la substance située au centre eût pu acquérir la température nécessaire pour le succès de l'opération.

Moyende chauffer les tubes.

On chauffe les tubes de verre soit à l'aide d'une lampe à plusieurs mèches, soit au moyen d'un feu de charbon : dans ce dernier cas, on les place sur une grille en fil de fer supportée par un fourneau dont le cendrier et la porte sont fermés, et on les enveloppe successivement de charbon bien enflammé : de cette manière on peut, avec un peu d'habitude, les porter au rouge obscur dans toute leur longueur, sans risquer de les fondre. Le docteur Ure emploie comme fourneau une petite boîte en étain qui supporte une plaque de tôle percée de petits trous et courbée en demi-cylindre, dans laquelle il met des charbons concassés de la grosseur d'une noisette : quand il a placé le tube sur le feu, il le recouvre avec un demi-cylindre semblable au premier et qui est muni

d'une petite cheminée au moyen de laquelle il détermine un tirage plus ou moins fort, à volonté.

Tubes à boules. Pour traiter les substances solides par les gaz, on fait plus souvent usage de tubes en verre à boule (Pl. II, Fig. 9) que de tubes cylindriques. Les tubes à boule sont faits avec des tubes ordinaires, tels que ceux qui servent pour monter les appareils, auxquels on soude une boule de quelques centimètres de diamètre, que l'on souffle avec un morceau de tube plus épais. Quelquefois on souffle la boule avec le tube même au milieu duquel on veut la placer; mais cela ne doit se faire que lorsqu'on ne lui donne qu'un très petit diamètre; autrement elle serait trop mince et elle ne résisterait ni au choc, ni à l'action du feu. Il y a des opérations pour lesquelles il est nécessaire d'avoir des tubes qui portent deux boules situées à quelque distance l'une de l'autre (Pl. IV, Fig. 10). Dans ces sortes d'appareils, on ne chauffe que les boules, et le plus souvent on n'en chauffe qu'une; on se sert pour cela d'une lampe à alcool à simple ou à double courant, que l'on peut élever ou abaisser à volonté, au moyen d'un pied à coulisse sur lequel elle pose. Pour faire l'opération, on sèche le tube, on le pèse, on introduit la substance dans la boule, en quantité telle que celle-ci ne soit remplie qu'au tiers tout au plus; on pèse de nouveau, et l'on a ainsi par différence le poids de la substance soumise à l'expérience. Cette substance ne doit pas être réduite en poudre trop fine, mais en grains assez gros, quoique très petits, pour qu'ils puissent tomber dans la boule et ne pas rester adhérens dans le tube; on a soin d'ailleurs de nettoyer exactement celui-ci avec une barbe de plume.

Tubes de fer. — Toutes les fois qu'il faut opérer à une température qui dépasse la chaleur rouge, ou que l'on traite à la fois un poids un peu considérable de matière, il est indispensable de se servir de tubes de porcelaine ou de tubes de fer : ces derniers étant attaqués par un grand nombre de substances, on ne peut les employer que dans certains cas assez peu nombreux. On se procure aisément, dans le commerce, de vieux canons

de fusil, qui sont commodes pour cet usage; on en détache la culasse, et on les courbe de différentes manières, selon le besoin.

Tubes de porcelaine. — On donne aux tubes de porcelaine 4 à 5 centimètres de diamètre tout au plus, et une longueur variable, mais qui dépasse rarement 6 décimètres (Fig. 11). On en fait de bifurqués (Fig. 12), et dans lesquels on peut, à l'aide de cette disposition, introduire à la fois deux gaz différens; quelquefois on leur donne la forme d'un U étroit (Fig. 13), ce qui permet de les chauffer dans des fourneaux de petites dimensions. Dimensions. Forme.

On chauffe les tubes de porcelaine et les tubes de fer dans des fourneaux à réverbère ordinaires, ou, ce qui vaut beaucoup mieux, dans des fourneaux de forme ovale, ou enfin, dans des fourneaux prismatiques construits en brique. On met presque toujours deux tubes l'un à côté de l'autre, espacés seulement par un intervalle suffisant pour que le charbon puisse facilement passer entre eux; cette disposition économise du temps et du combustible. Quand on tient à avoir le poids de la substance que l'on soumet, dans un tube de porcelaine, à l'action d'un gaz, on la place dans une très petite capsule de porcelaine ou de platine, ou même sur une feuille de platine ployée en forme de godet, et après l'opération on retire du tube la capsule ou le godet, à l'aide d'un crochet en fil métallique, et l'on pèse. Moyens de chauffer.

On pose les tubes solidement dans le fourneau, en leur donnant une légère pente vers le côté opposé à celui par lequel on introduit le courant de gaz; cette disposition a pour objet de faciliter l'écoulement des combinaisons qui se condensent à l'état liquide. Les extrémités des tubes doivent saillir de part et d'autre hors du fourneau, d'une longueur assez grande pour qu'elles se maintiennent à température modérée, afin qu'on puisse établir facilement leur communication avec les autres parties de l'appareil; mais quand le produit de l'opération est une vapeur qui se condense aisément à l'état solide, il faut que l'extrémité du tube par laquelle elle doit sor- Opérations.

tir saille le moins possible hors du fourneau, afin qu'elle ne se refroidisse pas trop et qu'elle ne s'engorge pas. On fait communiquer les tubes placés dans le fourneau avec l'appareil qui fournit le gaz, et avec les récipiens, au moyen de bouchons de liége lutés, de tuyaux de caoutchou, etc. Presque toujours il est nécessaire que le gaz soit complètement desséché avant d'être introduit dans le tube; on opère cette dessiccation en le faisant passer dans un gros tube ou dans un flacon dans lequel on met du chlorure de calcium fondu et grossièrement concassé.

Production des vapeurs.

Si ce sont des vapeurs que l'on doit faire passer sur la substance contenue dans le tube, on les produit aisément, quand elles proviennent d'un liquide, à l'aide d'une cornue placée sur un petit foyer ou sur une lampe. Il faut avoir l'attention de ne les faire affluer qu'avec lenteur, pour qu'elles puissent se décomposer, du moins pour la plus grande partie, en traversant le tube. On juge si la vitesse est convenable, par la nature des produits qui sortent de l'appareil.

Quand la substance dont on veut faire passer la vapeur dans le tube est solide, on l'introduit par petits morceaux successivement dans celui-ci, en bouchant à chaque fois l'ouverture aussi promptement que possible et avec le plus grand soin; mais il est nécessaire de prendre de très grandes précautions pour éviter que le contact subit d'un corps froid ne fasse casser le tube. Les uns font sortir le tube hors du fourneau, sur une longueur assez grande pour que son extrémité soit presque froide, et chaque fois qu'ils y introduisent un petit morceau du corps vaporisable, ils chauffent cette extrémité avec une lampe, de manière à faire fondre le corps, qui s'écoule alors vers la partie très échauffée et s'y réduit graduellement en vapeurs. D'autres adaptent à l'extrémité des tubes de porcelaine un tube de verre qui y entre à frottement et qui s'y enfonce sur une certaine longueur, et c'est par ce tube qu'ils introduisent successivement la matière solide à vaporiser; par ce moyen,

Tube de verre additionnel.

on évite de mettre cette matière immédiatement en contact avec le tube de porcelaine, et l'on n'a pas à craindre que ce tube se casse par un refroidissement subit. A la vérité, le tube de verre se fêle presque toujours, mais les morceaux restent ordinairement juxta-posés, et s'ils se dispersaient, on réparerait facilement l'appareil soit en enfonçant ce tube dans le tube de porcelaine, soit en en mettant promptement un autre.

Récipiens.

Dans le cas le plus général, on adapte à l'autre extrémité du tube de porcelaine un ballon tubulé ou une allonge qui communique avec un ballon de verre à deux tubulures, et dont la tubulure verticale est munie soit d'un long tube droit par lequel s'échappent les gaz, soit d'un tube recourbé qui conduit ces gaz dans un vase contenant une substance qui peut les absorber, quand on juge cette précaution nécessaire.

Lorsque la combinaison qui se produit dans l'expérience est vaporisable et condensable à l'état solide, on a toujours lieu de craindre l'engorgement de l'extrémité de sortie du tube; circonstance qui pourrait en déterminer la fracture avec explosion : dans ce cas il est commode de se servir pour récipient d'un ballon à quatre tubulures (Fig. 14). Les deux tubulures qui sont dans la direction du tube servent à laisser passer une tige rigide, soit de verre, soit de platine, soit de fer, enveloppée d'amiante, au moyen de laquelle on débarrasse l'extrémité du tube dès qu'elle commence à se remplir; la tubulure inférieure plonge dans un flacon que l'on maintient à une température très basse, et duquel part un tube qui sert d'issue aux gaz; enfin, la tubulure supérieure permet de dégorger, avec une tige rigide, la tubulure inférieure, lorsque celle-ci se trouve obstruée par la substance qui se condense.

Dosage de l'eau. — Il est quelquefois utile de doser l'eau qui peut résulter de la réaction d'un gaz sur une substance solide que l'on chauffe dans un tube; par exemple, quand on réduit un oxide par le gaz hydrogène, parce qu'alors on peut déduire du poids de l'eau la composition de cet oxide. Dans ce cas, on adapte au tube

principal un tube de verre à boule, et à celui-ci un tube de verre plus large, dans lequel on met du chlorure de calcium. Après l'opération, on pèse séparément chacun de ces tubes, qui avaient dû être pesés à l'avance; la plus grande partie de l'eau se condense dans la boule, et le reste est absorbé par le chlorure de calcium. On pourrait, à la rigueur, se dispenser d'employer une boule; mais cela est toujours avantageux, parce que si l'on ne se servait que de chlorure, au bout de peu de temps les morceaux deviendraient très-humides à la surface, à moins qu'on n'en employât une grande quantité, ce qui serait fort gênant; et alors leur affinité pour l'eau diminuant beaucoup, une partie de ce liquide pourrait échapper à leur action.

Expulsion de l'air. — Dans un grand nombre d'opérations du genre de celles que nous venons de décrire, il est indispensable de se débarrasser de la présence de l'air : on y parvient très facilement en faisant passer une certaine quantité de gaz à travers le tube, et en ne commençant à chauffer celui-ci que lorsque l'on est assuré qu'il ne contient plus que du gaz pur. Si, au lieu d'un gaz, c'est une vapeur qui doit agir sur la substance contenue dans le tube, on expulse l'air de celui-ci en y faisant passer un gaz qui ne puisse pas nuire à l'opération, de l'hydrogène ou de l'azote, par exemple. Quelquefois aussi la substance qui est le produit de la réaction est inaltérable à froid dans l'air, mais s'y oxide quand elle est chaude; dans ce cas, on la laisse refroidir dans le tube, au milieu du gaz qu'on y fait toujours lentement affluer, ou bien on y fait passer, pendant toute la durée du refroidissement, un gaz inerte, pour chasser celui qui a été employé dans l'opération, en évitant ainsi le contact de l'air atmosphérique.

CHAPITRE II.

DES FOURNEAUX.

On peut partager en deux classes les fourneaux dont on se sert pour les essais : 1°. ceux dans lesquels le courant d'air s'établit par aspiration, 2°. et ceux dans lesquels le courant d'air est établi par compression au moyen de soufflets.

Les fourneaux aspirateurs sont : 1°. les fourneaux dits de *calcination;* 2°. les fourneaux dits *à réverbère;* 3°. les fourneaux *à vent;* 4°. et les fourneaux de *coupelle.* Les fourneaux à courant d'air comprimé sont appelés génériquement *fourneaux à soufflets* ou *forges.*

Dans un fourneau quelconque, on distingue : 1°. le *foyer* ou *cuve,* espace dans lequel le combustible est contenu; 2°. la *grille,* qui fait le fond de la cuve, et qui supporte le combustible; 3°. le *cendrier,* espace inférieur à la grille, qui reçoit tous les résidus de la combustion; 4°. et la *cheminée,* tuyau plus ou moins élevé que parcourent les gaz et les vapeurs qui s'échappent du foyer.

SECTION PREMIÈRE.

Fourneaux aspirateurs.

ARTICLE PREMIER. — *Fourneaux de calcination.*

Forme. — Les fourneaux de calcination (Fig. 1, 2 et 3, Pl. V) sont petits et peu profonds, parce qu'ils ne sont pas destinés à produire une haute température : on les fait carrés ou circulaires. Les premiers sont plus faciles à construire, et donnent la facilité de remuer le charbon avec un ringard, sans courir le risque de toucher ou de faire trébucher les creusets. Lorsque l'on veut chauffer plusieurs creusets à la fois, ils sont encore préférables aux fourneaux circulaires; mais il est évident que ces derniers sont ceux qui produisent le plus haut degré de chaleur avec la moindre consommation possible de combustible, et que

l'on doit par conséquent les préférer aux fourneaux carrés, toutes les fois qu'on ne doit y mettre qu'un seul creuset.

Cuve. — On construit la cuve de ces fourneaux en bonnes briques liées avec de l'argile réfractaire ; mais comme ces briques sont exposées à se briser promptement vers le rebord antérieur, par suite de l'alternative fréquente du chaud et du froid, ainsi que du choc des pinces et des creusets, on garnit ces rebords de cadres en fer d'environ 4 à 5 centimètres de hauteur, et de 5 à 6 millimètres d'épaisseur. Ces cadres doivent être munis de pattes qui s'enchevêtrent dans la construction en brique ; ils peuvent durer plusieurs années : quand il se forme des vides à leur pourtour, il faut avoir soin de les remplir avec de l'argile mêlée d'un peu de sable ou de brique pilée.

Grilles. — Les grilles sont d'une seule pièce et composées de barreaux de fer soudés sur un cadre. Il convient d'écarter le plus possible les barreaux les uns des autres, et de ne pas les faire trop gros. A cet égard, il n'y a pas d'autres limites que celles qui résultent du besoin de la solidité. Il faut que les barreaux ne plient pas sous le poids du combustible et des creusets dans le moment où ils sont ramollis par la chaleur, et ils ne doivent pas être assez écartés les uns des autres pour que le charbon puisse passer à travers. Du reste, plus on facilite l'accès de l'air au milieu du combustible, et plus on élève la température dans le fourneau, et l'on a vu souvent des essais très simples ne pas réussir, uniquement parce qu'on avait fait usage de grilles dont les barreaux étaient trop gros ou trop rapprochés les uns des autres. Les grilles sont plates ou à pieds : lorsqu'elles sont à pieds (Fig. 1 et 2) ; en les plaçant sur leur plat ou sur leurs pieds, on a à volonté un fourneau très profond ou peu profond, et pouvant par conséquent procurer une température plus ou moins élevée ; mais on obtient le même résultat plus commodément avec des grilles sans pieds, en ménageant dans deux parties opposées des parois des fourneaux (Fig. 3), à une hauteur convenable, des saillies sur lesquelles on pose ces grilles quand on n'a besoin que

A pieds.

Plates.

d'une faible chaleur, et de manière à pouvoir les introduire jusqu'au fond lorsqu'il convient de chauffer plus fortement.

Cendrier. — Le cendrier est un espace réservé sous la grille, et dans lequel s'accumulent tous les débris de la combustion. Il doit avoir les mêmes dimensions que le fourneau en superficie, et il doit être ouvert sur toute sa largeur, afin que l'air ait un libre accès sous la grille; mais il est bon, par économie, de munir cette ouverture d'une porte en tôle à charnière (Fig. 5), portant elle-même une seconde porte à coulisse, comme les portes de poêle; de cette manière on modère le tirage à volonté, et en fermant les deux portes, on peut éteindre le feu quand on n'en a plus besoin, et conserver du charbon qui, sans cela, aurait été brûlé en pure perte. Porte

Cheminée. — Ordinairement les fourneaux de calcination n'ont pas de cheminée fixe; mais on les recouvre avec une cheminée mobile lorsqu'on veut leur faire produire une forte chaleur. Cette cheminée est un tuyau de tôle forte muni d'un manche en bois (Fig. 3 et 4): on lui donne 6 à 8 décimètres de hauteur, et quand on a besoin d'un fort tirage, on en met deux l'une au-dessus de l'autre. On y adapte souvent une porte de quelques centimètres de largeur, mobile sur des gonds, et que l'on ouvre ou ferme exactement à volonté : par ce moyen, on peut examiner ce qui se passe dans le fourneau sans être obligé d'enlever la cheminée, et par conséquent sans refroidir la matière qui est soumise à l'expérience. Cette disposition est fort commode. On se sert avec avantage de tuyaux de tôle pour allumer le feu, en guise de soufflets: leur pouvoir d'aspiration est assez grand pour déterminer l'embrasement d'une masse de charbon à l'aide d'un chiffon de papier ou de quelques brins de braise allumée. Tuyau.

Quand une expérience doit produire des vapeurs dangereuses ou incommodes, il faut, pour empêcher ces vapeurs de se répandre dans le laboratoire, les introduire dans une cheminée qui ait une issue par-dessus les toits. Dans ce cas, on place le fourneau dans l'épaisseur de la Conduit en briques.

muraille *aaa* (Fig. 5), sous un conduit en brique qui communique avec une cheminée ordinaire, et l'on ferme avec une plaque de fonte l'ouverture par laquelle on introduit le combustible, les creusets, etc., dans le fourneau.

Température. Un fourneau de calcination découvert de 12 à 15 centimètres de diamètre, et de 10 à 12 de profondeur, donne environ 25° p. de chaleur; mais en le recouvrant d'un tuyau aspirateur, on peut lui faire produire 50 et même 60°.

Fourneaux d'évaporation. — Lorsqu'on a à faire beaucoup d'essais et à traiter des matières très diverses dans un laboratoire, on a besoin de plusieurs fourneaux dits de *calcination;* il faut en avoir de différentes dimensions. De plus, les essais par la voie sèche étant souvent précédés ou suivis de quelques opérations de la voie humide, il est nécessaire d'avoir des moyens de chauffer des fioles, des matras et des vases de diverses sortes, d'opérer des évaporations, etc. Les fourneaux de calcination peu profonds peuvent servir pour ces différens usages; mais il est plus commode et plus économique d'avoir de petits fourneaux particuliers en fonte (Fig. 4), et un bain de sable dont le fond et les parois sont chauffés par la flamme circulante d'un foyer *s* (Fig. 5) disposé convenablement.

Paillasse. — On dispose ordinairement ces différens fourneaux, ainsi que les fourneaux de calcination, dans un même massif de maçonnerie en brique, que l'on nomme *paillasse* (Fig. 5). Les briques doivent être liées solidement entre elles par de bonne argile; et pour qu'elles ne puissent pas se disjoindre par l'effet de la dilatation, on entoure la paillasse de deux ceintures en fer *c*, *c*, scellées de distance à autre dans le massif. On réserve, dans la partie inférieure, des espaces vides *v*, *v*, *v*, séparés par des piliers, et qui servent de magasins pour le combustible, les fromages, couvercles, etc.

Hotte. Pour empêcher les vapeurs qui émanent des foyers, des capsules d'évaporation, etc., de se répandre dans le laboratoire, la paillasse doit être surmontée d'une large *hotte* H

(Fig. 5), qui descende jusqu'à 2 mètres au-dessus du sol, et qui communique avec une cheminée élevée et tirant bien. Les hottes se font ordinairement en plâtre appliqué sur une carcasse composée de barres de fer; mais de cette manière, elles sont lourdes et coûtent fort cher. Il est bien préférable de les faire en tôle forte (Fig. 2 et 3, Pl. VII); on réunit les feuilles de tôle à clou rivé, et l'on assujettit la hotte au moyen d'une simple barre de fer en forme de ceinture. Si l'on a l'attention d'enduire la tôle de deux à trois couches de peinture à l'huile avant qu'il ait pu s'y former aucune tache de rouille, elle se conserve pendant un très long temps sans éprouver aucune altération.

Lorsqu'on évapore sur une paillasse des liquides qui produisent des vapeurs nuisibles, on se sert de tuyaux aspirateurs ou cheminées mobiles pour forcer ces vapeurs à passer dans la grande cheminée adaptée à la hotte. Si le vase est placé sur un fourneau d'évaporation ordinaire, on met autour une large chevrette à pieds élevés, et l'on pose sur celle-ci un tuyau aspirateur (Fig. 4) : par cette disposition, le tuyau contient et soutire les vapeurs sans augmenter sensiblement le tirage du foyer.. Si l'évaporation se fait sur un bain de sable, on peut recouvrir le vase avec un tuyau aspirateur à triple courbure qui conduit les vapeurs dans le foyer, d'où elles se rendent dans la cheminée.

Tuyau aspirateur.

ARTICLE II. — *Fourneaux à réverbère.*

Dans les laboratoires on nomme *fourneaux à réverbère* des fourneaux portatifs (Fig. 7 et 8, Pl. III), ronds, que l'on peut à volonté recouvrir d'un *dôme* ou *réverbère*. Ces fourneaux peuvent servir pour les calcinations, les fusions, etc.; mais le plus souvent on les emploie pour opérer des distillations et des sublimations. Ils se composent de trois pièces : 1°. le *fourneau* proprement dit, qui est muni d'une grille en terre ou en fer, et qui ne diffère en rien d'un fourneau de calcination ordinaire; 2°. le *laboratoire* : c'est une pièce cylindrique de même diamètre que le fourneau, et qui porte d'un côté une ouverture

demi circulaire ; 3°. le *dôme* ou *réverbère* : c'est une pièce en terre, hémisphérique, de même diamètre que le laboratoire, et qui, comme celui-ci, porte sur un de ses côtés une ouverture demi circulaire : les deux ouvertures demi circulaires étant placées l'une au-dessus de l'autre, laissent un espace à travers lequel on fait passer le col des cornues. Lorsqu'on a besoin d'un fourneau très profond, on place plusieurs laboratoires l'un au-dessus de l'autre : souvent au contraire on pose le dôme immédiatement sur le fourneau. En adaptant au dôme des tuyaux en terre ou en tôle plus ou moins élevés, on fait produire aux fourneaux une température plus ou moins forte, et qui n'a pour ainsi dire pas de limite.

Les fourneaux à réverbère sont ordinairement en terre cuite. Pour qu'ils fassent un long usage, il est indispensable alors de les cercler avec des bandes de fer plat, ou au moins avec du gros fil de fer. On en fabrique aussi en tôle forte qui sont beaucoup plus durables : ils se composent de deux chemises en tôle, distantes de 3 à 4 centimètres, et dont on remplit l'intervalle avec de l'argile battue.

ARTICLE III. — *Fourneaux à vent.*

Dispositions. — Les fourneaux à vent ne diffèrent des fourneaux de calcination qu'en ce qu'ils sont accompagnés d'une cheminée fixe très élevée, qui détermine une forte aspiration d'air, d'où résulte une combustion active, et par suite une production de chaleur très considérable.

Fourneaux Macques.

Dans les anciens fourneaux la cheminée était placée immédiatement au-dessus de la cuve, comme on le voit dans les Fig. 1 et 2, Pl. VI. Alors on était obligé de ménager, sur une des faces de la cuve, une large ouverture par laquelle on pût faire entrer le creuset dans le fourneau et l'en retirer ; ouverture que l'on fermait à volonté avec une plaque de fer ou une porte en brique qu'on lutait exactement avec de l'argile, avant d'allumer le feu. On introduisait le combustible

par une autre ouverture ménagée dans la cheminée, et que l'on fermait aussi à volonté avec une porte mobile; mais cette disposition est peu commode, et l'on préfère maintenant placer la cheminée derrière le fourneau, en la mettant en communication avec celui-ci par un large canal ou *rampant* (Fig. 3, Pl. VI et VII); de cette manière le dessus de la cuve est tout-à-fait libre; c'est par là qu'on introduit les creusets et le combustible, et alors la porte latérale devient inutile.

Fourneau ordinaire.

Les fourneaux dans lesquels on prépare en grand l'acier fondu (Fig. 4, Pl. VI) sont de ce genre, et peuvent très bien servir pour faire des essais. Leur embouchure est au niveau du sol, ce qui rend fort commode la manœuvre nécessaire pour retirer les creusets quand l'opération est terminée, et le cendrier se trouve dans une cave voûtée. Dans une aciérie, il y a ordinairement plusieurs fourneaux les uns à côté des autres, sur une même ligne, et dont toutes les vapeurs communiquent avec une cheminée commune. A la faveur d'une disposition fort simple, on peut retirer le creuset d'un fourneau sans s'exposer à être incommodé par la chaleur, et sans être obligé d'arrêter le tirage dans les autres fourneaux. Tous les fourneaux sont situés au-dessus du même cendrier souterrain I, dans lequel on pénètre par une voûte latérale H, et ce cendrier communique avec la cheminée par les conduits C. Deux ouvertures EE′, pratiquées dans la cuve de chaque fourneau, peuvent à volonté laisser passer les vapeurs dans le conduit *c*. La première ouverture E est située tout-à-fait au haut de la cuve; elle est ouverte pendant tout le travail; la seconde E′, qui est au contraire ordinairement bouchée, se trouve à 7 ou 8 centimètres seulement au-dessus de la grille. Lorsqu'on veut retirer le creuset du fourneau on enlève le couvercle D, un ouvrier descend dans le cendrier, et en passant son bras dans le conduit C, il enlève la brique qui sert à boucher le trou inférieur E′; dès lors le tirage s'établit par cette ouverture, et l'on ne ressent presque aucune chaleur à la partie supérieure du four-

Fourneau à acier.

neau. On rebouche l'ouverture E' aussitôt que l'on commence une nouvelle fusion.

Fourneau accessoire.

Comme les vapeurs qui se dégagent d'un fourneau d'essai se trouvent à une très haute température, on a eu l'idée d'en tirer parti, et de se servir du rampant qu'elles traversent, comme d'un second fourneau destiné à faire des essais de métaux très fusibles. Cela peut se faire effectivement; mais l'expérience montre que l'on n'obtient dans le rampant que de très faibles effets calorifiques, et qui ne compensent pas les inconvéniens provenant de la complication de l'appareil.

Rectangulaire.

Forme. — Les fourneaux à vent sont ordinairement carrés; mais si l'on voulait s'en servir pour chauffer plus de quatre creusets à la fois, on pourrait les faire rectangulaires, en plaçant la cheminée sur un des plus longs côtés. Au contraire, quand les fourneaux sont destinés à ne recevoir qu'un seul creuset, on peut les

Circulaire.

faire circulaires : le choix de la forme dépend de la nature des matériaux de construction dont on dispose. Quand on se sert de briques, ce qui est le cas le plus ordinaire, on préfère la forme carrée à la forme ronde, comme présentant beaucoup plus de facilité dans l'exécution.

Pyramidale.

Il n'y a aucune raison pour évaser les fourneaux à vent en forme de pyramide renversée, comme cela se fait quelquefois : il vaudrait mieux, au contraire, donner une légère inclinaison à leurs parois dans un sens opposé, en les rétrécissant un peu à la partie supérieure; il en résulterait que le combustible descendrait aisément de lui-même, et que, comme on ne serait pas obligé de l'agiter souvent avec les ringards, on risquerait moins de déranger les creusets et de les renverser. Néanmoins on se détermine presque toujours à faire les fourneaux exactement prismatiques, à cause de la fa-

Fourneau de Chenevix.

cilité de l'exécution. Chenevix avait donné au sien la forme d'une pyramide carrée droite tronquée, dont la largeur à la base était de 35 centimètres, et à la partie supérieure de 22 centimètres (Fig. 5); il a an-

noncé en avoir obtenu d'excellens effets, dus, selon lui, à ce que l'air pénétrant à travers le combustible par une grande surface, en accélérait beaucoup la consommation.

Cuve. — Le massif des fourneaux à vent doit être, comme le massif des paillasses, construit en bonnes briques cimentées avec de l'argile et solidement liées par deux ceintures en fer. Il n'est pas nécessaire que ces briques soient réfractaires, l'essentiel est qu'elles soient solides; mais il n'en est pas de même de celles qui servent à garnir l'intérieur de la cuve; ces dernières doivent être faites avec une argile tenace, la plus réfractaire possible, et elles doivent en outre pouvoir supporter les brusques changemens de température sans se briser. On les prépare ordinairement avec la pâte que l'on emploie pour faire les creusets. Souvent, au lieu de préparer les briques à l'avance pour en garnir l'intérieur de la cuve, on place au centre de la cavité un noyau en bois de la forme que doit avoir la cuve, en laissant entre ses parois et la maçonnerie du massif un vide d'environ 10 centimètres, et l'on remplit ce vide, qui doit former la chemise intérieure, avec une pâte d'argile réfractaire très consistante et que l'on tasse couche par couche, en ayant soin de bien lier toutes les parties. Quand le vide est plein, on retire le moule et l'on fait sécher lentement et avec précaution, en ayant l'attention de remplir exactement avec de l'argile les gerçures que la dessiccation peut occasioner. Ce mode de construction convient particulièrement pour l'exécution des fourneaux circulaires. Dans tous les cas, il est nécessaire de border l'ouverture de la cuve avec un cadre en fer, pour qu'elle ne soit pas exposée à se détériorer par le mouvement des ringards et des pinces.

Cendrier. — Comme, d'une part, il est nécessaire de pouvoir intercepter tout accès de l'air dans la cuve par la porte inférieure, soit pour arrêter tout-à-fait la combustion, soit pour qu'elle n'ait lieu qu'avec une extrême lenteur, par exemple lorsque l'on veut chauf-

fer un fourneau qui n'a pas servi depuis long-temps; et que, d'un autre côté, il est essentiel pour atteindre le *maximum* de température, que l'air puisse affluer avec la plus grande facilité possible dans la cuve, il faut que le cendrier soit muni de portes que l'on puisse ouvrir et fermer à volonté. Il convient que ces portes soient très grandes, et il est bon qu'il y en ait une sur chaque face : ce sont des plaques de fer ou de fonte munies d'un manche et d'une patte qui leur sert de pied *p* (Fig. 2, 3, 5, Pl. VII).

Portes.

Grilles. — Les grilles sont d'une seule pièce ou composées de barreaux mobiles; ces dernières sont les plus commodes. Les grilles d'une seule pièce sont faites avec des barreaux de fer soudés sur un cadre, et elles portent trois ou quatre pieds qui ont pour hauteur la profondeur du cendrier; en donnant à ces grilles une largeur un peu moindre que celle de la cuve, on peut aisément les mettre en place, et les retirer quand cela est nécessaire pour les réparer. Les grilles à barreaux mobiles *g*, *g*, *g* (Fig. 1 et 2), se composent de barreaux de fer carrés de 20 à 25 millimètres de côtés, posés d'une part sur un autre barreau semblable, solidement fixé dans la maçonnerie en brique, et d'un autre côté sur la base d'une ouverture ménagée dans le devant du fourneau, et par laquelle on les introduit et on les retire à volonté, pour les réparer ou pour les remplacer lorsqu'ils se trouvent trop endommagés. On remarque, au reste, que ces barreaux durent fort long-temps lorsqu'on a soin de retirer fréquemment la braise du cendrier, pour qu'ils ne puissent pas s'échauffer. De quelque manière que la grille soit faite, il est de la plus grande importance d'écarter autant que possible les barreaux les uns des autres, afin que l'air ait un libre accès dans le combustible. Il suffit qu'ils soient suffisamment rapprochés pour que les creusets puissent être posés solidement dessus, et pour que les gros charbons ne passent pas à travers.

A pieds.

A barreaux mobiles.

Fourneaux à grilles latérales.

Toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de chaleur qui se développe dans un fourneau est d'autant plus grande qu'il y passe plus d'air dans l'unité de temps,

et la quantité d'air aspiré doit augmenter avec la largeur des orifices par lesquels il peut pénétrer. On peut donner un plus facile accès à l'air dans les fourneaux à vent, en remplaçant par des grilles les parois latérales sur une certaine hauteur. Le fourneau se trouve alors avoir cinq grilles (Fig. 4 et 5), une horizontale, formée de barreaux mobiles, et quatre verticales, de la hauteur des plus grands creusets que l'on emploie dans les essais, et qui sont portées sur des pieds à talons qui les maintiennent solidement à leur place, sans qu'il soit nécessaire de les sceller dans la maçonnerie. On pourrait aussi souder ces cinq grilles ensemble et en faire une sorte de panier que l'on ferait entrer dans le fourneau par l'ouverture du cendrier, et que l'on aurait la faculté de retirer à volonté pour la réparer (Fig. 6 et 7).

Fond plein.

Comme il est facile de dégorger de pareils fourneaux, en faisant passer le ringard de temps en temps et avec précaution à travers les grilles, on peut remplacer leur grille horizontale par un fond plein, ce qui donne l'avantage de placer les creusets d'une manière plus stable. Dans ce cas, le fond plein est formé d'une simple plaque de tôle forte recouverte d'une couche de 1 à 2 centimètres d'épaisseur d'argile mêlée de sable et de poussier de charbon. On pose cette plaque sur les barreaux mobiles de la grille horizontale, et quand l'essai est terminé, en enlevant deux ou trois de ces barreaux, le fond tombe et le fourneau se trouve nettoyé. Après le refroidissement, on répare le fond, s'il en a besoin, et on le remet en place sur les barreaux, pour faire une nouvelle opération.

Mais nous devons dire que le fourneau à parois de brique et à grille horizontale (Fig. 1, 2 et 3) suffit pour tous les essais de minerais métalliques, et qu'il est en même temps le plus simple de tous et celui qui peut servir pendant le plus de temps sans exiger de réparations.

Couvercle. — Lorsqu'un fourneau à vent est en feu, on ouvre toutes les portes du cendrier, et l'on ferme au contraire très exactement l'orifice de la cuve avec un cou-

vercle fait en briques solidement encastrées dans un châssis en fer *c* (Fig. 1, 2 et 3). Le plus souvent on se contente de le faire glisser sur la paillasse, en le saisissant par le crochet, quand on veut ouvrir le fourneau pour y introduire du charbon, etc., ou quand on veut le fermer; mais quelquefois on attache ce couvercle à une potence mobile sur son axe, par une chaîne qui passe sur une poulie et qui porte un contre-poids. Ce mécanisme, quand les localités permettent de l'établir, facilite beaucoup la manœuvre du fourneau.

Cheminées. — La cheminée est une partie très essentielle du fourneau à vent; c'est de sa hauteur et de ses dimensions que dépend la force du tirage de l'air, et par suite le degré de chaleur qui se produit dans la cuve. En général, plus cette cheminée est haute et spacieuse, et plus le tirage est actif; en sorte qu'en lui donnant une très grande hauteur, on pourrait obtenir des températures excessivement élevées; mais il y a une limite qu'il serait inutile de dépasser, du moins pour les usages de la voie sèche; et d'ailleurs la construction d'une cheminée très haute présentant souvent de grandes difficultés, et nécessitant toujours de grandes dépenses, quand on a besoin d'un très fort courant d'air, on préfère ordinairement se le procurer dans un laboratoire au moyen d'un soufflet. Une cheminée de 10 à 15 mètres de hauteur suffit pour produire, dans les fourneaux à vent, une chaleur capable de ramollir les creusets les plus réfractaires. On fait ordinairement ces cheminées carrées ou rectangulaires, et on leur donne intérieurement les mêmes dimensions horizontales qu'à la cuve. On les construit en briques, qu'on relie par trois ou quatre frettes en fer, jusqu'à une hauteur de 2 mètres au-dessus de la paillasse, et l'on peut se servir, pour les prolonger, d'une cheminée ordinaire d'appartement, s'il se trouve une pareille cheminée à une petite distance. A 16 ou 18 décimètres au-dessus du sol, on adapte à ces cheminées de tirage un registre au moyen duquel on peut intercepter complètement le passage de l'air et faire varier la lar-

Registre.

geur de ce passage à volonté. Ce registre consiste le plus ordinairement en une plaque de fer horizontale *pp* (Fig. 2 et 3), qui se meut comme un tiroir, dans une coulisse.

Données relatives au tirage. — M. Péclet a fait, relativement aux cheminées, des recherches et des expériences très importantes dont il a consigné les résultats dans son *Traité de la Chaleur* (tome Ier, page 227). Nous extrairons de son travail quelques notions qui nous paraissent propres à éclairer sur la puissance de ce moyen de ventilation. Lorsque l'air s'échauffe il se dilate et devient plus léger, et si l'on suppose qu'il soit renfermé dans une enveloppe imperméable au milieu de l'air froid, il tend à s'élever avec une force égale à la différence entre son poids et celui du volume d'air froid dont il occupe la place. Si l'air chaud est contenu dans un tuyau vertical ouvert par les deux bouts, la force avec laquelle il tend à sortir par l'orifice supérieur est équivalente à la pression d'une colonne du même air chaud dont la hauteur serait $h' - h$, h' représentant la longueur que prend une colonne h d'air froid en prenant la température de l'air chaud. La vitesse de l'écoulement est égale à celle qu'acquiert un corps en tombant de la hauteur $h' - h$. D'après cela, h étant la hauteur d'une colonne d'air chaud, t' sa température, t la température de l'air extérieur, m la dilatation de l'air pour chaque degré du thermomètre centigrade, $= 0{,}00375$, la vitesse d'écoulement de l'air chaud est donnée par la formule $v = \sqrt{2gh\frac{(t' - t)\,m}{1 + tm}}$, formule qui se simplifie et se réduit à $v = \sqrt{2ghm\,(t' - t)}$; en considérant que comme t est toujours très petit, on peut faire, sans grande erreur, $1 + tm = 1$. L'air qui circule dans les cheminées n'étant pas de l'air pur, mais de l'air altéré par la combustion, et contenant par conséquent du gaz acide carbonique et de l'oxide de carbone, a une densité plus grande que l'air atmosphérique; il faudrait donc, à la rigueur, pour pouvoir calculer la vitesse de son écoulement, connaître cette densité, et rechercher, d'après cela, quelle

Vitesse théorique.

Influence de la combustion.

hauteur h' doit prendre une colonne h d'air ordinaire, pour que celui-ci se réduisît à la même densité que l'air brûlé; mais la densité d'un air dont tout l'oxigène serait transformé en acide carbonique n'étant que de 1,09, et M. Péclet ayant constaté, par l'expérience, que dans le cas du plus fort tirage, le quart de l'oxigène au moins, et souvent la moitié, échappe à la combustion, il s'ensuit que la densité du mélange gazeux qui traverse les cheminées, est presque toujours moindre de 1,05, et que par conséquent on peut, sans commettre une grande erreur, la supposer égale à l'unité dans les calculs approximatifs que l'on a à faire à ce sujet.

Vitesse réelle. La vitesse v, donnée par la formule ci-dessus, est celle de l'air pur échauffé à la température t', parcourant un canal dans lequel il ne se refroidirait pas et dans lequel il n'éprouverait aucune résistance ; mais les physiciens et les praticiens ont observé depuis long-temps que la vitesse des courans gazeux est considérablement diminuée dans les tuyaux de conduite, par l'effet du frottement qu'ils éprouvent contre les parois, tout comme cela a lieu pour les courans liquides. La diminution est même très considérable, car M. Péclet a trouvé, par expérience, que la vitesse réelle d'écoulement de l'air chaud par l'orifice d'une cheminée de fourneau haute de 13 à 14 mètres, n'est que le cinquième environ de la vitesse calculée. MM. Girard, Lagerhgelm et d'Aubuisson ont prouvé que la résistance que les tuyaux de conduite opposent au mouvement des gaz est proportionnelle au carré de la vitesse et à la longueur des tuyaux, qu'elle croît en raison inverse des diamètres, et qu'elle varie aussi selon la nature de la matière dont sont formés les tuyaux; elle est plus grande dans les tuyaux de terre cuite que dans la tôle, et dans la tôle que dans la fonte. M. Péclet a reconnu que la même loi s'applique exactement au mouvement de l'air chaud dans les cheminées, et il a été conduit, par le résultat de plus de quinze cents expériences faites avec un très grand soin, à admettre pour le facteur par lequel il faut multiplier la vitesse théorique, afin d'obtenir la vi-

Loi.

tesse réelle, 2,06 $\sqrt{\frac{D}{L + 4D}}$, lorsque le tuyau est en terre cuite ou en brique; 3,25 $\sqrt{\frac{D}{L + 10D}}$, lorsque le tuyau est en tôle; et enfin, 4,61 $\sqrt{\frac{D}{L + 20D}}$, lorsque le tuyau est en fonte. L étant la hauteur de la cheminée, et D sa largeur; ce qui donne

Formules.

pour la terre cuite $v = 8{,}85 \sqrt{\frac{hm + (t' - t)D}{L + 4D}}$;

pour la tôle $v = 14{,}00 \sqrt{\frac{hm + (t' - t)D}{L + 10D}}$;

et pour la fonte $v = 19{,}80 \sqrt{\frac{hm + (t' - t)D}{L + 20D}}$.

Cheminée sinueuse

On doit prendre pour h la différence de niveau des deux orifices de la cheminée, et pour L sa longueur, en suivant toutes ses sinuosités, si elle est oblique ou tortueuse. Du reste, M. Péclet s'est assuré que ces formules s'appliquent exactement au calcul de la vitesse pour les cheminées sinueuses comme pour les cheminées rectilignes, verticales ou obliques, et que les sinuosités n'influent sur cette vitesse, qu'en ce qu'elles augmentent la longueur du canal, et par suite les résistances dues au frottement.

Effet du refroidissement.

L'air chaud entrant dans une cheminée par la partie inférieure, se refroidit graduellement à mesure qu'il s'élève, par l'effet de l'irradiation et du contact des parois. La perte de chaleur qu'il éprouve croît proportionnellement à la différence de sa température et de celle de l'air extérieur, et en raison inverse de la vitesse du courant et du diamètre de la cheminée. Le calcul exact en est compliqué. D'après Fourier, la perte de chaleur qui a lieu dans une tranche dans le sens de l'épaisseur des parois, est exprimée par la formule $B = \frac{a - he\,(a - b)}{he + k}$, B désignant la température de la surface extérieure de la cheminée, a celle de la surface intérieure, b la tempéra-

ture constante de l'air ambiant, k la conductibilité propre de la substance dont se composent les parois, h sa conductibilité à la surface, et e l'épaisseur. Il s'ensuit que la perte de chaleur B — b est proportionnelle à $\frac{1}{he}$ quand k est très petit, et par conséquent en raison inverse de l'épaisseur, quand la conductibilité à la surface est elle-même très petite. Selon M. Péclet, pour déterminer les pertes de chaleur dans le sens de la hauteur des cheminées, on a les relations suivantes :

Formules.

$\log T' = \log T - \frac{0{,}000061\,L}{DEV}$, pour les tuyaux cylindriques en terre cuite ; $\log T' = \log T - \frac{0{,}01350L}{DEV}$, pour les tuyaux en tôle de un demi-millimètre d'épaisseur, et $\log T' = \log T - \frac{0{,}02430L}{DEV}$, pour les tuyaux en fonte de 1 centimètre d'épaisseur, T' étant l'excès de température de l'air chaud sur l'air ambiant au sommet de la cheminée, T le même excès au bas de la cheminée, L la longueur du canal, D son diamètre, E l'épaisseur des parois, et V la vitesse du courant. Ces formules s'appliquent à peu près aussi aux cheminées carrées. Quand les cheminées sont en briques épaisses, et que la vitesse du courant qui les traverse est grande, on peut, sans grande erreur, supposer que la température de l'air est la même dans toute leur hauteur.

Effet des diaphragmes.

Lorsqu'on rétrécit l'orifice supérieur d'une cheminée en y adaptant un diaphragme, la dépense d'air, et par conséquent le tirage diminuent, mais non pas proportionnellement à l'ouverture du diaphragme ; parce que la vitesse à l'intérieur, le long des parois, diminuant en même temps, la résistance due au frottement devient moindre, et qu'en raison de cela la vitesse d'écoulement par le diaphragme augmente ; de telle sorte que si le diamètre de la cheminée était grand par rapport au diamètre du diaphragme, la vitesse de l'air à l'orifice serait égale à la vitesse théorique. Quand le diaphragme est placé à la partie inférieure, les effets sont à peu près les mêmes, et la diminution de dépense est encore moindre, parce

que la vitesse d'écoulement à l'orifice supérieur ne dépend que de la pression et non du diamètre, et que la dépense augmente avec celui-ci. M. Péclet a conclu d'un grand nombre d'expériences, que l'on peut admettre approximativement que la vitesse d'écoulement à l'orifice supérieur d'une cheminée, croît comme le diamètre de l'orifice inférieur.

Effet d'un fort tirage.

On a reconnu qu'il y a toujours économie à brûler les combustibles sous l'influence d'un fort tirage, lors même que les fumées qui s'échappent des cheminées conservent une très haute température; mais il y a plus d'avantage encore à opérer la combustion par un tirage actif, en refroidissant les fumées le plus possible. On obtient ce résultat en donnant aux cheminées une très grande hauteur ou un grand diamètre : cependant, dans ce dernier cas, il est nécessaire de rétrécir leur orifice au moyen d'un diaphragme d'un diamètre tel, que l'air chaud ne s'écoule pas avec une vitesse moindre de 2 à 3 mètres par seconde, afin que le courant puisse résister à l'action des vents extérieurs.

Choix des matériaux.

Quoique la fonte et la tôle étant beaucoup meilleurs conducteurs de la chaleur que la brique, occasionent dans les courans d'air chaud un refroidissement beaucoup plus rapide, comme la brique oppose par le frottement une résistance plus grande au mouvement des gaz, on trouve qu'en définitive les cheminées qui tirent le mieux sont celles qui sont faites en fonte, et ensuite celles qui sont faites en tôle. Il vaudrait évidemment encore mieux les construire en tuyaux de fonte entourés d'un revêtement en brique, pour empêcher le refroidissement.

Forme.

On place ordinairement les cheminées de laboratoire près d'un mur, qui forme une de leurs faces; alors on les fait presque toujours prismatiques. Si l'on avait à construire une cheminée isolée, la meilleure forme à lui donner serait celle d'une pyramide tronquée terminée par un orifice cylindrique très court, faisant fonction de diaphragme.

Ouvertures latérales.

Lorsque l'on pratique des ouvertures latérales dans une

cheminée qui est traversée par un courant d'air chaud, il arrive, selon la disposition de la cheminée, ou que l'air froid extérieur pénètre par les ouvertures, ou qu'au contraire celles-ci livrent passage à l'air chaud intérieur.

Ouvertures soufflantes.

On sait qu'il n'y a pas de pression latérale dans les liquides et les fluides élastiques en mouvement, quand ils ont acquis toute la vitesse qui peut résulter de la pression à laquelle ils sont soumis. Il suit de là qu'en faisant abstraction du frottement, il ne sortirait pas d'air chaud et il n'entrerait pas d'air froid par des ouvertures faites dans une cheminée cylindrique placée sur un foyer; mais comme le frottement oppose une résistance très grande au mouvement, ainsi qu'on l'a vu, dans le cas dont nous parlons l'air chaud n'a pas toute sa vitesse dans le canal, et il exerce une pression latérale qui le force à s'écouler par ces ouvertures. Dans une cheminée munie d'un diaphragme supérieur, il y a écoulement plus abondant encore d'air chaud, parce que le diaphragme a pour effet de diminuer beaucoup la vitesse à l'intérieur, et qu'il en résulte que l'air acquiert une densité plus grande que celle que comporte sa température. Lorsqu'il y a un diaphragme à la partie inférieure de la cheminée, les effets sont tout opposés : l'air froid extérieur pénètre par ces ouvertures avec une force d'autant plus grande que le diaphragme est plus étroit, parce que dans ce cas l'air se dilate en sortant de ce diaphragme, et qu'il n'a pas dans le corps de la cheminée la densité correspondante à sa température et à la hauteur de la colonne. Enfin, quand il y a un diaphragme à la partie supérieure et à la partie inférieure de la cheminée, l'air chaud sort par les ouvertures latérales, si le diaphragme de la partie supérieure est plus petit que celui de la partie inférieure, et l'air froid pénètre dans la cheminée dans le cas contraire. Il est d'ailleurs évident que toutes circonstances étant les mêmes, le courant qui s'établit par les ouvertures latérales est d'autant plus rapide que ces ouvertures sont situées plus près de la partie inférieure de la cheminée.

Ouvertures aspirantes.

Les cheminées qui sont destinées à établir un courant d'air de l'extérieur à l'intérieur sont ce que l'on nomme des *cheminées d'appel;* elles sont très souvent utiles dans les laboratoires, pour se débarrasser des vapeurs nuisibles qui résultent des réactions chimiques. On les établit d'une manière fort simple, en mettant en communication les petites cheminées des fourneaux de calcination et des bains de sable, etc., qui occupent les différentes parties de la paillasse, avec une large cheminée placée derrière cette paillasse, et dans laquelle on ménage quelques ouvertures sur toute sa largeur (Fig. 5, Pl. V). Cheminées d'appel.

SECTION II.

Fourneaux à soufflet, ou forges d'essai.

Dans les forges d'essai, l'air nécessaire à la combustion est poussé à travers le charbon au moyen d'une machine soufflante, au lieu d'y être introduit par l'aspiration d'une cheminée, comme dans les fourneaux à vent.

ARTICLE PREMIER. — *Machine soufflante.*

Quand le laboratoire est situé dans une usine, on met à profit les grandes machines soufflantes qui se trouvent dans l'usine, pour se procurer le courant d'air nécessaire. Il suffit, pour cela, d'adapter au réservoir de ces machines un tuyau d'un diamètre suffisant, qui vienne aboutir près de la forge d'essai. Comme ces fourneaux ne consomment que très peu d'air, comparativement au volume qui est nécessaire pour alimenter les grands fourneaux métallurgiques, cette faible soustraction n'entrave aucunement la marche de ces derniers. Lorsqu'on n'a pas de grandes machines à sa disposition, on fait usage d'un soufflet construit *ad hoc* et d'une forme quelconque. Le plus commode est le soufflet d'orgue à deux vents, en bois ou en cuir blanc (Fig. 1 et 2, Pl. VIII). Grandes machines. Soufflet d'orgue.

Le volume d'air qu'il faut faire arriver dans un fourneau varie pendant toute la durée d'un essai, et doit pouvoir s'accroître successivement; il faut donc disposer les Régulateur.

choses de telle manière que l'on puisse graduer le courant à volonté. Ordinairement on fait passer l'air qui sort du soufflet dans une boîte de laquelle partent les tuyaux distributeurs, et l'on règle l'écoulement au moyen d'un mécanisme quelconque adapté à cette boîte ou aux tuyaux eux-mêmes. Les deux principaux mécanismes de graduation en usage sont : 1°. des robinets de fontainier en cuivre, adaptés au tuyau qui amène l'air dans la boîte, et à chacun des tuyaux distributeurs (Fig. 2); 2°. une coulisse horizontale glissant à frottement dans la boîte, et portant des ouvertures circulaires de même diamètre que les tuyaux. Dans une certaine position de la coulisse, les ouvertures correspondent exactement aux tuyaux, et alors le vent est à son *maximum;* dans une autre position extrême, l'orifice des tuyaux se trouve fermé; et dans des dispositions intermédiaires, cet orifice laisse à l'air un passage plus ou moins large. Dès qu'un essai est terminé, il faut avoir l'attention de fermer exactement tous les robinets, ou la coulisse, afin que l'air chaud ne puisse remonter ni dans le soufflet ni dans la boîte.

A robinets.

A coulisse.

Un soufflet de 12 à 15 décimètres de longueur suffit pour alimenter la plus grande forge d'essai; on peut d'ailleurs augmenter considérablement la quantité d'air qu'il est susceptible de fournir, en le chargeant de poids et en accélérant proportionnellement le mouvement du volant.

ARTICLE II. — *Dispositions diverses.*

On dispose les forges d'essai de différentes manières : les unes sont fixes et les autres mobiles. Le plus souvent on y introduit le vent par la partie inférieure; mais il y en a dans lesquelles le courant d'air pénètre latéralement. Nous allons faire connaître les dispositions les plus usitées.

Forge maréchale. — Lorsque l'on n'a que quelques essais à faire, on peut se servir de la forge d'un maréchal. Alors on élève autour de la tuyère trois murs

rectangulaires en bonnes briques lutées avec de l'argile, et d'une hauteur suffisante pour qu'ils dépassent de 1 à 2 décimètres le creuset que l'on doit employer; on place ce creuset sur un fromage au milieu de l'espace entouré par les trois murailles et le mur de la forge, on emplit de charbon, et l'on souffle en graduant le vent avec ménagement. Comme le courant d'air frappe immédiatement le creuset d'un côté seulement, il le fait souvent casser, s'il n'est pas d'excellente qualité. Pour éviter, autant que possible, que cet accident n'arrive, il faut avoir soin que l'intervalle compris entre le creuset et la tuyère soit toujours bien rempli de charbon.

Manchon mobile. — En se servant toujours de la forge d'un maréchal, on peut se procurer un fourneau plus commode et d'un meilleur usage, en remplaçant les murailles en brique par un manchon cylindrique en terre cuite, un peu évasé à la partie supérieure, et garni à la partie inférieure d'une plaque en terre percée de trous, ou d'une grille en fer. On pose le manchon sur une cavité hémisphérique creusée autour de la tuyère; on garnit son pourtour inférieur d'un peu d'argile ou tout simplement de frasil, pour empêcher la déperdition de l'air, et l'on met le creuset sur un fromage au milieu du cylindre. A l'aide de cet appareil fort simple, on peut obtenir une chaleur très forte et d'autant plus élevée que le manchon est plus petit. Quand l'essai est terminé et le creuset retiré, on met sur le manchon un couvercle en terre cuite, pour qu'il ne soit pas exposé à se détériorer par un refroidissement trop rapide; on le retire quand il est refroidi, et la forge est rendue à sa destination accoutumée.

Forge à trois tuyères. — Pendant les premières années de la révolution on s'est servi, à l'École des Mines de Paris, d'une forge d'essai dite *forge à trois tuyères* (Fig. 3 et 4), dans laquelle on obtenait une chaleur extrêmement intense. Cette forge était circulaire, et voici comment on l'avait construite. Deux cercles en fer, de 15 millimètres

d'épaisseur, de 6 à 7 centimètres de largeur et d'environ 6 décimètres de diamètre extérieur, ont été attachés ensemble par trois barres de fer qui fixaient la distance de leurs bords extérieurs à environ 25 centimètres. On a laissé une des extrémités de chacune de ces barres assez longue pour qu'elle dépasse le cercle inférieur d'environ 3 centimètres, afin de les faire entrer dans trois trous pratiqués dans les briques qui devaient faire le fond du fourneau, et d'empêcher, par ce moyen, celui-ci de se déranger. Cette espèce de châssis a été remplie par des briques réfractaires taillées en forme de voussoir, en les usant les unes sur les autres; et pour les lier solidement, on a introduit dans leurs joints une pâte faite avec la poussière provenant du dressage de ces mêmes briques, délayée dans une bouillie très claire d'argile réfractaire. On a réservé sur le pourtour, à des distances égales, trois ouvertures par lesquelles on puisse faire entrer l'extrémité des tuyaux porteurs de vent. Ces tuyaux sont ordinairement en cuivre; mais pour le service de ce fourneau on avait ajusté à leur extrémité des tuyères en fer forgé plus étroites. Par cette disposition, l'air se comprimait sensiblement dans la boîte, et l'on obtenait un vent très régulier que l'on rendait plus ou moins fort au moyen des robinets.

Forge à trois vents. — On a aussi quelquefois remplacé les trois tuyères par trois trous communiquant à un réservoir d'air au milieu duquel se trouvait la cuve, et que l'on alimentait constamment à l'aide d'un soufflet (Fig. 5). La cuve consistait en un grand creuset d'argile semblable aux pots de verrerie, percé de trois trous circulaires placés à égale distance les uns des autres, à 15 ou 20 centimètres au-dessus du fond. On fixait ce creuset dans un cylindre bâti en brique et plus large de quelques centimètres; on scellait toutes les jointures avec de l'argile, et c'est dans ce cylindre que l'on faisait arriver le vent du soufflet par une ouverture latérale.

Inconvénient

Quoique ces fourneaux donnent de très bons résultats, ils sont d'un usage peu commode, parce qu'ils n'ont

pas de cendrier, et qu'on est forcé, à cause de cela, d'arrêter le feu dès que les scories qui proviennent des combustibles, des tutes, etc., se sont accumulées jusqu'à une certaine hauteur.

Forge de l'École des Mines. — Cet inconvénient a déterminé à les remplacer, à l'École des Mines, par un simple fourneau à vent ordinaire, muni de sa grille en fer, et dans lequel le cendrier est fermé et sert de réservoir d'air (Fig. 1 et 2). Pour que le vent se distribue dans le combustible avec le plus d'uniformité possible, on a conservé trois tuyaux conducteurs; mais ces tuyaux n'étant plus exposés à l'action de la chaleur, on en a enlevé les tuyères en fer, qui n'auraient eu pour effet que de faire obstacle à l'écoulement de l'air. Quand un essai est terminé, on ferme exactement tous les robinets et l'on enlève la porte du cendrier, afin qu'il puisse s'établir à travers la grille un courant d'air qui achève la combustion du frasil. On peut à volonté chauffer à la fois, dans cette forge, quatre creusets ordinaires, comme dans le fourneau à vent, ou n'en chauffer qu'un seul avec économie, et l'exposer à une température extrêmement élevée, en rétrécissant la cuve avec des briques, ou en introduisant dans son intérieur des manchons en terre de grandeur convenable.

Forge d'Aikin. — Aikin a imaginé d'employer, pour faire une forge d'essai, les grands creusets de plombagine que l'on fabrique en Allemagne, et qui ont la propriété d'être peu fusibles, et de supporter des alternatives très brusques de chaleur et de froid sans se casser. Son fourneau est portatif et se compose de trois pièces (Fig. 6). 1°. La partie inférieure est le fond d'un de ces creusets coupé à une hauteur telle, qu'il y reste une cavité d'environ 25 millimètres de profondeur; on perce sur un de ses côtés un trou cylindrique dans lequel on introduit le tuyau du soufflet qui doit fournir le vent. 2°. La seconde pièce, ou la cuve, est un creuset entier d'environ 2 décimètres de diamètre supérieur; on le perce à son fond de six ouvertures disposées symé-

A vent inférieur.

triquement autour du centre, et on le pose sur la pièce inférieure, de manière à ce que le vent du soufflet ne puisse passer qu'à travers le creuset; c'est au fond de celui-ci que l'on place le creuset, fixé sur un fromage. 3°. La troisième pièce du fourneau d'Aikin n'est pas indispensable; on n'en fait usage que lorsqu'on désire accumuler le combustible au-dessus du creuset, ou quand on veut se garantir de l'action de la chaleur. C'est un creuset de même dimension que celui qui sert de cuve, que l'on place sur celui-ci, le fond en l'air, en guise de couvercle : sur un des côtés de ce couvercle on pratique une grande ouverture circulaire pour le passage de la flamme, et du côté opposé on y ajuste un manche de fer garni d'un manchon en bois, et au moyen duquel on peut le saisir pour l'enlever à volonté.

A vent latéral. Au lieu de faire arriver l'air dans le creuset à travers son fond, on peut l'y introduire par une ouverture latérale d'une largeur suffisante pour recevoir la tuyère (Fig. 7). Alors on place une grille à quelques centimètres au-dessus de cette ouverture, et c'est sur cette grille que l'on pose le creuset. Cette disposition rend inutile la pièce inférieure du fourneau d'Aikin, et elle a d'ailleurs l'avantage de laisser de plus larges issues pour les cendres, qui, quand elles ne peuvent pas tomber facilement dans le cendrier, finissent par intercepter le passage de l'air et obligent à arrêter le feu.

Forge suédoise. — M. Strum a imaginé un fourneau qui est établi sur le même principe que les anciennes forges à trois tuyères et à trois vents du laboratoire de l'École des Mines, mais qui est plus simple et qui a en outre l'avantage d'être portatif. On l'emploie beaucoup en Allemagne depuis quelques années; il consiste en deux cylindres de tôle forte (Fig. 8), réunis solidement ensemble, à leur partie supérieure, par une plaque annulaire, et ayant chacun un fond placé à la même distance l'un de l'autre que les parois latérales. Le petit cylindre est la cuve dans laquelle on met les creusets et le combustible : l'espace compris entre cette cuve et le

grand cylindre sert de réservoir d'air, et il reçoit le vent du soufflet par une ouverture latérale qui donne passage à la tuyère. L'air pénètre dans la cuve à travers huit ouvertures qui sont pratiquées dans les parois, à peu près au niveau du fond des creusets. On garnit les parois intérieures de la cuve d'une couche épaisse d'argile réfractaire qu'on y fait adhérer solidement, ou bien on remplace cette couche d'argile par un grand creuset réfractaire de même diamètre que le petit cylindre de tôle, et dans lequel on perce des trous qui correspondent exactement aux ouvertures. Quand l'essai est terminé et qu'on a retiré le creuset, on retourne le fourneau sens dessus dessous, pour vider et nettoyer la cuve.

Inconvéniens.

Toutes les personnes qui ont fait usage de ce fourneau ont reconnu qu'il donne en peu de temps une chaleur telle, que les argiles réputées les plus réfractaires ne peuvent pas la supporter sans se fondre; il peut donc être fort commode et fort utile pour faire des expériences qui exigent une température excessivement élevée; mais il a plusieurs inconvéniens qui le rendent moins propre à servir aux essais ordinaires de la voie sèche, que les fourneaux à vent. Premièrement, il exige le secours d'une machine de compression, ce qui nécessite le service d'un homme, lorsqu'on ne peut pas prendre le vent dans le réservoir d'une usine. Secondement, il s'use promptement si l'on n'a pas le soin d'entretenir le courant d'air lancé par les soufflets dans l'espace annulaire, jusqu'à complet refroidissement : en effet, si l'on ne prenait pas cette précaution, aussitôt que le vent cesserait les parois en tôle s'échaufferaient très rapidement aux dépens de la chaleur accumulée dans la cuve, il se formerait à leur surface des écailles d'oxide, et elles ne tarderaient pas à tomber en lambeaux. Mais le plus grand inconvénient de ce fourneau est de ne pas avoir de cendrier, et c'est là aussi ce qui a fait abandonner la forge à trois tuyères (Fig. 3 et 4) que nous avons décrite page 137, quoiqu'elle produisît les mêmes effets calorifiques que le fourneau suédois. L'absence du cendrier fait que les débris de combustible in-

complètement brûlés, les fragmens qui se détachent de la chemise, et les scories de toutes sortes, s'accumulent au fond de la cuve et ne tardent pas à s'élever au niveau des ouvertures, et à intercepter le passage de l'air, ou du moins à le rendre tellement difficile, que l'on se trouve dans la nécessité de mettre fin à l'expérience. Il résulte de ce que nous venons de dire, que le fourneau suédois ne peut être d'un bon service que pour des opérations qui ne sont pas de longue durée, ou lorsqu'on a à sa disposition du charbon ou du coke qui ne produit presque pas de cendres.

SECTION III.

Comparaison des fourneaux à vent et des fourneaux à soufflet.

Température. — On peut indifféremment faire tous les essais de la voie sèche dans des fourneaux à vent ou dans des fourneaux à soufflet : ces deux genres de fourneaux se suppléent réciproquement et donnent chacun, quand ils sont disposés convenablement, le *maximum* de température qu'il est possible d'atteindre. Dans les uns comme dans les autres, le degré de chaleur dépend du volume d'air qui passe à travers l'unité de masse du combustible, pendant l'unité de temps; mais, toutes choses égales d'ailleurs, les grands fourneaux chauffent plus fortement que les petits, parce que dans les premiers la quantité de chaleur qui se perd par l'enveloppe est relativement moins grande que dans les derniers.

Maximum. Dans un fourneau à vent, le *maximum* de chaleur est limité par les dimensions de la cheminée, et dans une forge, par les dimensions du soufflet; mais en chargeant le soufflet de poids plus ou moins considérables, on peut augmenter la force du vent, et par conséquent accroître presque indéfiniment la température. Sous ce rapport, les forges ont donc de l'avantage sur les fourneaux à vent.

Vitesse d'échauffement. Dans ces derniers le tirage de la cheminée augmente

au fur et à mesure que la chaleur s'élève dans le fourneau, en sorte que la température s'accroît progressivement, mais graduellement. Dans une forge, en donnant immédiatement au soufflet toute sa charge et toute sa vitesse, et en ouvrant tous les conduits pour le passage de l'air, on porte presque immédiatement la combustion à son *maximum*, et l'on atteint par conséquent plus rapidement une très haute température que dans un fourneau à vent; mais ce second avantage a peu d'importance, parce que, comme la chaleur ne pénètre que lentement à travers les creusets, jusqu'à la matière qu'ils contiennent, et que l'on a pour but de fondre, on est presque toujours obligé de ne graduer la chaleur que peu à peu, sans quoi on courrait le risque de ramollir les creusets avant que la substance soumise à l'essai se fût trouvée suffisamment échauffée.

Durée du feu. — Dans un fourneau à vent, comme dans une forge, on ne peut entretenir le feu que pendant un certain temps limité (trois ou quatre heures au plus), parce qu'au bout de ce temps la grille ou l'orifice des tuyères se trouve encombrée par les cendres et les scories, surtout lorsqu'on se sert de coke pour combustible. Cependant une forge peut être tenue en feu pendant plus long-temps qu'un fourneau à vent, parce que dans ceux-ci le tirage se ralentit de lui-même à mesure que la grille s'encombre, tandis que dans les forges, en chargeant suffisamment le soufflet, l'air pénètre toujours avec la même abondance tant qu'il reste quelques interstices. Il semble donc qu'une forge soit préférable à un fourneau à vent, toutes les fois que l'on veut tenir pendant le plus de temps possible un essai exposé à une très haute température; mais comme la fusibilité des creusets, de l'argile qui sert de lut, des cendres du combustible, etc., s'oppose à ce que l'on prolonge le feu pendant plus de trois ou quatre heures, il est de fait que les fourneaux à vent rendent absolument les mêmes services que les forges. Ils sont d'ailleurs infiniment plus commodes et plus économiques, puisqu'ils marchent

Avantage des fourneaux à vent.

d'eux-mêmes et qu'ils dispensent de l'emploi d'un homme occupé à faire mouvoir le soufflet. Une forge est utile dans un laboratoire, pour servir dans quelques cas extraordinaires; lorsque, par exemple, on veut soumettre un seul creuset à la plus haute chaleur possible : il faut alors que le fourneau soit petit et le soufflet très grand; c'est comme si l'on faisait un essai au chalumeau.

Utilité des forges.

Distribution de la température. — De quelque manière que l'air soit introduit dans un fourneau quelconque, à vent ou à soufflet, il paraît évident que la quantité de chaleur qui se développe ne dépend, pour une même grandeur de fourneau, que du volume d'air qui y passe dans l'unité de temps; mais le degré de température n'est pas le même dans les différentes parties du fourneau, et la distribution de la chaleur varie selon la manière dont le vent arrive au milieu du combustible. La paroi que l'air traverse est maintenue froide par le courant; de là vient que les grilles durent très long-temps et ne s'oxident pas, quand on a l'attention de n'arrêter le vent que lorsque tout le combustible est consumé; mais la chaleur augmente suivant une progression très rapide, jusqu'à une certaine distance, à laquelle elle atteint son *maximum;* au-delà, elle va plutôt en diminuant, parce que l'air se trouvant presque épuisé d'oxigène, il n'y a plus combustion. L'expérience a appris que ce *maximum* a lieu à la distance de 6 ou 8 centimètres des grilles ou des tuyères.

Lieu du *maximum.*

Dans les fourneaux à vent ordinaires, l'air s'introduit par une grille horizontale qui fait le fond du fourneau, et les creusets, fixés à un fromage, sont placés sur cette grille. Par cette disposition, la partie inférieure et moyenne des creusets, qui est précisément celle qu'occupe la matière à fondre, se trouve bien à la hauteur où la chaleur est à son *maximum;* mais le fromage étant constamment maintenu froid par le contact du courant d'air, il doit s'établir un écoulement continuel de chaleur, de l'intérieur du creuset au dehors, à travers son support; d'où il résulte que la matière soumise à l'essai n'atteint le

maximum de température qu'après un temps assez long, et que ce *maximum* est toujours inférieur à celui qui a lieu dans la masse du charbon en combustion. C'est à cause de cela, sans doute, que dans les fourneaux à vent et dans les forges d'essai à grille inférieure, les expériences ordinaires de fusion exigent toujours au moins de une heure et demie à deux heures de feu. Néanmoins il paraît que cette cause de refroidissement des creusets n'est pas aussi grande qu'on pourrait le croire; car dans les fourneaux à vent à grilles latérales, la fusion ne s'opère pas plus tôt quand le fond est plein que quand il est occupé par une grille.

Courans latéraux.

Dans les fourneaux à courans latéraux, comme dans les anciennes forges à trois tuyères et à trois vents de l'École des Mines et dans le fourneau suédois, le fond est plein, et le fromage se trouvant toujours au milieu des charbons embrasés et hors du contact du courant d'air, s'échauffe promptement et est maintenu à une température très élevée; il n'enlève donc pas de chaleur au creuset, et celui-ci occupant la partie du fourneau où la température est à son *maximum*, doit lui-même acquérir cette température assez rapidement. Mais ces sortes de fourneaux ont un très grand inconvénient, que nous avons déjà signalé, et qui a presque toujours fait renoncer à les employer pour les usages habituels, c'est qu'on ne peut les maintenir en feu que pendant très peu de temps, parce que tous les débris de la combustion ne tardent pas à encombrer la cuve et entraver le passage du vent.

Grilles latérales.

Il est probable que la quantité d'air qui traverse le combustible est un peu plus considérable dans les fourneaux à vent à grilles latérales, que dans les fourneaux à parois pleines; mais la différence ne peut être que très faible, parce que le tirage dépend presque exclusivement des dimensions de la cheminée. Quoi qu'il en soit, l'air affluant à travers le combustible par une plus grande surface dans les fourneaux à grilles latérales que dans les fourneaux ordinaires, il doit s'introduire avec une moindre vitesse dans les premiers fourneaux que dans les seconds; par conséquent, pour des temps égaux, il en passe un moin-

dre volume sur chaque point de la masse du combustible dans ceux-là que dans ceux-ci. Il suit de là que, dans les fourneaux à grilles latérales, la combustion a lieu à peu près uniformément dans toutes les parties, tandis que dans les fourneaux ordinaires, elle n'est nulle part aussi active que dans le voisinage de la grille horizontale. Par conséquent, dans les premiers fourneaux la chaleur est plus uniformément répartie que dans les seconds, mais dans aucun point des fourneaux à grilles latérales elle n'atteint un degré de température aussi élevé que dans la partie inférieure des fourneaux à vent ordinaires. D'après cela, il est évident que les fourneaux à grilles latérales seraient propres à être employés pour chauffer des creusets profonds, uniformément sur toute leur hauteur; mais que lorsque l'on veut exposer un petit volume de matière à la plus haute température possible, et c'est ce que l'on se propose presque toujours dans les essais, les fourneaux ordinaires à parois pleines doivent être préférés.

SECTION IV.

Emploi des fourneaux.

Dimensions. — Comme les essais ne se font en général que sur une très petite quantité de matière (10 à 30 grammes), on chauffe ordinairement plusieurs creusets à la fois. Un fourneau de 25 à 27 centimètres de côté peut contenir aisément trois à quatre creusets de 8 à 10 centimètres de hauteur, quand il est neuf, et quatre ou cinq lorsqu'il s'est élargi à la partie inférieure par l'usage.

Opération. — Il faut avoir soin d'assujettir les creusets solidement sur la grille, et de les placer dans le fourneau symétriquement et à 4 ou 5 centimètres des parois, afin qu'ils soient tous chauffés également, et qu'ils soient environnés de toutes parts par le combustible. Quand ils ont été placés, on remplit l'espace qu'ils laissent vide avec du charbon noir que l'on introduit morceau à morceau, afin de le répartir bien également, puis on jette par-dessus quelques charbons allumés pour y mettre le feu, et enfin, on achève de remplir le fourneau avec du charbon

Placement des creusets.

Mise en feu.

noir jeté à la pelle. Alors on ouvre la porte du cendrier, et si l'on opère dans le fourneau à vent, on ferme le registre de la cheminée et on laisse le fourneau découvert. De cette manière, la combustion ne se propage que peu à peu et de haut en bas, ce qui a beaucoup d'avantages. En effet, premièrement, il en résulte que les creusets, ainsi que les parois du fourneau, ne s'échauffant que lentement et graduellement, ne sont pas exposés à se gercer et à se fendre, comme cela pourrait arriver si l'échauffement était brusque; et, en second lieu, les luts ne se séchant que lentement, prennent un retrait uniforme et s'attachent fortement aux creusets, qu'ils fixent sur leurs fromages; tandis que si l'on chauffait rapidement, ils se fendilleraient, se détacheraient en éclats et laisseraient les creusets sans soutien sur leurs bases. Enfin, en chauffant lentement et de haut en bas, la matière qui est renfermée dans les creusets prend peu à peu du retrait, se calcine en partant de la partie supérieure, et s'affaisse sans soulever la brasque, lors même qu'elle est susceptible de bouillonner au moment où elle entre en fusion.

Conduite du feu.

Au bout de trois quarts d'heure ou une heure au plus le fourneau est très chaud, si on l'a maintenu toujours plein de combustible, et si l'on a eu soin de faire descendre celui-ci avec un ringard dans la partie inférieure, afin qu'il ne s'y forme pas de vides. Alors on commence à donner le vent, et on le gradue de quart d'heure en quart d'heure pendant une heure environ. Au bout de ce temps un essai ordinaire est terminé, et l'on a dû ménager les charges de charbon de telle sorte qu'à cette époque les creusets se trouvent à découvert. Pour les retirer, on enlève les plus gros morceaux de combustible avec des pinces, on fait tomber les fragmens menus à travers la grille, avec un ringard, puis on saisit successivement chaque creuset avec une pince à moustache courbe (Fig. 25, Pl. II), et on les place enfin dans un bain de sable pour les laisser refroidir.

Fin de l'essai.

Second essai.

Second essai. — On peut, si l'on veut, recommencer immédiatement un essai dans un fourneau qui vient de

servir, après l'avoir nettoyé complètement. Il y a dans la seconde opération une grande économie de combustible, parce qu'elle marche beaucoup plus vite ; mais comme, dans ce cas, il n'est pas possible de placer les creusets avec la main, et qu'on ne peut les introduire qu'au moyen de pinces, il est toujours assez difficile de les disposer solidement sur la grille. En outre, quand le fourneau est très chaud, les luts se dessèchent très rapidement, se fendillent, et se détachent souvent des creusets, de telle sorte que ceux-ci n'adhèrent pas à leurs fromages et sont exposés à être renversés par le mouvement du ringard. Un second essai est donc toujours un peu plus chanceux que le premier. On évite en grande partie l'inconvénient du dessèchement rapide des luts, en remplissant le fourneau de charbon noir aussitôt que les creusets sont placés, et en fermant le cendrier pendant quelque temps, afin que la combustion ne se propage que lentement dans la masse.

Inconvénient.

Combustible. — On chauffe les fourneaux d'essai avec du charbon de bois ou avec du coke, ou même avec un mélange de ces deux combustibles. Quant aux fourneaux de calcination, on ne les chauffe qu'avec du charbon de bois, parce que le coke employé en petites masses s'embrase et se brûle trop difficilement. Le charbon de bois n'est pas du carbone pur non plus que le coke ; indépendamment des substances volatiles, ces combustibles renferment des matières fixes qui restent après la combustion et qui constituent ce qu'on appelle les *cendres*.

Les cendres se fondent ou s'agglomèrent, et lorsqu'elles se sont amassées en certaine quantité, si l'on ne peut pas les faire tomber à travers les barreaux des grilles sans s'exposer à renverser les creusets, elles obligent à arrêter le feu. Comme elles ne se trouvent pas en même proportion dans les différens combustibles, on voit que sous ce rapport il y a un choix à faire parmi ceux-ci : moins ils contiennent de cendres et meilleurs ils sont, d'abord parce que sous un même poids ils renferment plus de matière utile, et en second lieu, parce qu'ils encombrent moins

Cendres.

les fourneaux et qu'ils permettent de les maintenir au feu pendant un plus long-temps. La nature des cendres, qui n'est pas la même pour tous les combustibles, mérite aussi d'être prise en considération.

Le charbon de bois renferme 0,03 à 0,04 de cendres, terme moyen ; ces cendres sont toujours essentiellement composées de chaux et de carbonate de potasse : elles ne sont pas fusibles par elles-mêmes, et si elles ne rencontraient aucune substance avec laquelle elles pussent se combiner, elles passeraient en poussière à travers la grille avec le fraisil ; mais par cela même qu'elles sont très basiques, elles exercent une action excessivement corrosive sur les briques, sur les creusets et sur les luts, et il résulte de cette action des scories vitreuses qui coulent le long des parois du fourneau et à la surface des creusets, et qui finissent par encombrer la grille. Lorsque les cendres ne sont qu'en petite proportion dans le charbon, leur nature corrosive est plutôt utile que nuisible, parce qu'elles donnent naissance à un vernis vitreux qui pénètre dans les interstices des luts et a pour effet de souder solidement le creuset à son couvercle et à son support. Cendres de bois.

La proportion de cendres que renferme le coke est extrêmement variable ; elle est, terme moyen, de 0,10 dans le coke que l'on trouve dans le commerce, et qui est réputé de bonne qualité ; mais elle est souvent beaucoup plus considérable encore. D'un autre côté, dans les grands centres d'exploitation de houille, on peut se procurer du coke presque pur, et qui ne laisse après sa combustion que 0,02 à 0,03 de résidu : il y a donc un très grand choix à faire dans cette espèce de combustible, et l'on peut en trouver qui laisse moins de cendres que le charbon de bois ; mais ces cendres sont d'une nature toute différente : elles se composent essentiellement d'oxide de fer, provenant du grillage des pyrites que renferme la houille, et d'argile. L'argile est analogue à celle qui constitue les schistes houillers, peu fusible par elle-même, mais cependant ramollissable ; lorsqu'elle est pure, elle s'agglomère sous forme de scories, sans atta- Cendres de coke.

quer les creusets ni les parois des fourneaux ; mais cette circonstance se présente rarement, et presque toujours, au contraire, c'est l'oxide de fer qui domine dans la cendre ; alors celle-ci, à la faveur de l'oxide de fer ramené à l'état de protoxide par le contact des matières combustibles, non-seulement devient très fusible par elle-même, mais encore exerce sur toutes les matières argileuses une action corrosive très forte, et il en résulte que les creusets se percent et se fondent promptement, et qu'il devient nécessaire de réparer très fréquemment les parois des fourneaux.

Pouvoir calorifique.

A poids égaux, le coke développe en brûlant à peu près la même quantité de calorique que le charbon de bois ; mais à volumes égaux, le premier combustible en développe beaucoup plus que le second, parce que sa densité est beaucoup plus grande. Il résulte de cette différence dans le pouvoir calorifique du coke et du charbon de bois, que dans un même fourneau le premier produit un degré de température plus élevé que le second ; et l'on trouve, en effet, que dans les hautes températures, la différence peut aller jusqu'à 10° p. Pour se rendre compte de cet effet, il faut considérer, 1°. que, dans un espace donné, la quantité de chaleur qui se produit dans un temps déterminé, et par conséquent la température, dépendent du poids du combustible brûlé, et croissent avec ce poids ; 2°. et qu'en outre la combustion n'ayant lieu que par la surface des morceaux, ce qui est prouvé par un grand nombre d'observations, on peut admettre qu'à chaque instant l'action de l'oxigène enlève à tous les morceaux une couche de même épaisseur, quelle que soit la nature du combustible. Dès lors on voit que le poids de la matière brûlée dans l'unité de temps doit être exactement proportionnel à sa densité, et que par conséquent les combustibles les plus pesans fournissant plus d'aliment à la combustion que les autres, doivent aussi chauffer plus fortement. Mais comme, par la même raison, ils consomment une plus grande proportion d'oxigène, ils doivent exiger, pour produire tout leur effet, un vent

plus rapide et un courant d'air plus comprimé que les combustibles légers, et c'est effectivement ce que l'on a toujours remarqué.

Il est évident, d'après ce que nous venons de dire des propriétés relatives du charbon de bois et du coke, que toutes les fois que l'on peut se procurer du coke de bonne qualité, et surtout du coke dont la cendre soit peu ferrugineuse, on doit l'employer de préférence au charbon de bois pour faire des essais à une haute température. Dans les grandes villes, où ce dernier combustible est toujours fort cher, et où l'on trouve souvent, au contraire, du coke qui reste sans emploi, il y a en même temps avantage et très grande économie à faire usage de celui-ci. Avantages du coke.

Comme le coke a le défaut de ne s'embraser que difficilement, il est commode de charger d'abord le fourneau avec du charbon de bois, et de ne commencer à mettre du coke que lorsque toute la masse est bien enflammée. On peut ensuite supprimer tout-à-fait le charbon ; mais quand le coke n'est pas de très bonne qualité, et qu'il donne beaucoup de cendres, il convient de le mélanger avec une certaine quantité de charbon.

Une condition très essentielle pour obtenir l'effet *maximum* d'un fourneau, et dont l'expérience seule peut faire apprécier toute l'importance, est de n'employer le combustible qu'en morceaux de grosseur convenable. Si on le prenait à la pelle, tel qu'il se trouve dans les charbonniers, le poussier et le fraisil dont il est mélangé rempliraient tous les interstices, et l'air ne pouvant s'ouvrir que difficilement un passage à travers, la combustion serait lente, le feu serait étouffé, et il ne se produirait que peu de chaleur. D'un autre côté, si l'on ne mettait dans le fourneau que de gros morceaux de combustible, ils laisseraient entre eux de grands espaces vides, ils ne présenteraient qu'une surface peu étendue à l'air, il ne s'en brûlerait qu'un poids peu considérable dans l'unité de temps, et la température ne pourrait pas encore atteindre son *maximum*. Pour arriver à ce résultat, il faut que les morceaux aient une certaine grosseur moyenne : l'ex- Choix des morceaux.

Grosseur. périence a appris que les morceaux de charbon de bois ne doivent pas avoir moins de 5 à 6 centimètres de longueur, et les morceaux de coke moins de 3 à 4 centimètres de diamètre. Il faut chercher par tâtonnement à faire en sorte qu'il y ait dans le fourneau une proportion telle d'air et de combustible, que la consommation de celui-ci soit aussi rapide que possible.

Lorsque l'on charge le fourneau pour l'alimenter, il est essentiel de répartir les morceaux avec beaucoup de soin, et de les faire descendre avec un ringard le long des parois, ainsi que dans l'espace que laissent entre eux les creusets.

Effets et consommations. — Pour donner une idée de l'effet calorifique que produisent les fourneaux à vent et les forges de différentes dimensions, ainsi que de la quantité de combustible qu'on y consomme, nous rapporterons les résultats suivans, qui ont été constatés au laboratoire de l'École des Mines, dans lequel on fait constamment usage d'un mélange, à parties égales en poids, de coke de qualité moyenne et de charbon de bois. Dans tous les essais, on comprend dans la durée du feu une heure environ, pendant laquelle on ne donne pas le vent, afin de laisser le combustible s'embraser lentement.

Dans le fourneau à vent (Fig. 1, 2 et 3, Pl. VII), en deux heures de feu on consomme 10 kilogrammes de combustible, et le manganèse se fond en grenailles. — En deux heures et demie de feu la consommation est de 27 $\frac{1}{2}$ kilogrammes, et en chauffant quatre creusets, le manganèse fond facilement. — En rétrécissant la cuve du même fourneau, de manière à ne lui laisser que 16 centimètres de côté, la consommation est de 10 kilogrammes, et en ne chauffant qu'un creuset, le manganèse fond très aisément. — En ne laissant à la cuve que 12 centimètres de côté, la consommation est de 8 kilogrammes, mais le manganèse ne se fond pas complètement. — Dans un autre fourneau de 22 centimètres de côté, dont la cheminée a 22 centimètres sur 28, en deux heures de feu l'on consomme 16 kilogrammes de combustible, et en chauffant

trois creusets, le manganèse fond complètement. — Dans le fourneau à vent à grilles latérales (Fig. 4 et 5), en deux heures et demie de feu la consommation est de 29 kilogrammes, mais le manganèse ne fond pas.

Dans la grande forge (Fig. 1 et 2, Pl. VIII), en deux heures et demie de feu on consomme 31 à 32 kilogrammes de combustible, et en chauffant quatre creusets on parvient à fondre le manganèse. — En rétrécissant la cuve de manière à ne lui laisser que 16 centimètres de côté, on consomme 9 et demi à 10 kilogrammes de combustible, et en ne chauffant qu'un seul creuset, le manganèse fond très facilement. — Dans une forge de 22 centimètres de côté, alimentée par un soufflet de 9 décimètres de longueur et 6 décimètres de largeur, en deux heures et demie de feu l'on consomme 13 kilogrammes de combustible, et en chauffant trois creusets, les minerais de fer fondent très bien, mais le manganèse ne se ramollit pas.

Outils. — Le service des fourneaux d'essai n'exige qu'un très petit nombre d'outils; ce sont : 1°. des ringards en fer droits et à crochet (Fig. 9 et 10, Pl. VIII), destinés à faire descendre le combustible dans les vides qui se forment au fond des fourneaux, à nettoyer les grilles, à redresser les creusets lorsque l'on a à craindre qu'ils se renversent, etc.; 2°. des pinces droites et à mâchoires courbes (Fig. 25, Pl. II), qui servent pour saisir les creusets, les placer dans les fourneaux et les retirer, etc.; 3°. des pelles en tôle avec lesquelles on peut prendre le charbon pour le jeter dans le fourneau, si l'on a eu soin d'en séparer préalablement le poussier et les morceaux menus, en le passant à la claie, sans quoi il faudrait le choisir morceau à morceau avec les pinces; 4°. un masque en bois percé d'une ouverture vitrée (Fig. 11, Pl. VIII), à l'aide duquel on se garantit le visage de la chaleur, lorsque l'on veut regarder de près dans le fourneau. En tenant ce masque de la main gauche par la poignée, à la hauteur de la tête, on peut de la main droite se servir des ringards ou des autres outils.

Ringards.

Pinces.

Pelles.

Masque.

SECTION IV.

Fourneaux de coupelle ou à moufle.

Les fourneaux de coupelle étaient déjà employés dans le XIIIe siècle ; ce sont des espèces de fourneaux à réverbère, portatifs, au milieu desquels on place un petit four demi cylindrique qu'on appelle la *moufle*. Cette moufle se trouvant entourée de toutes parts de combustible en ignition, s'échauffe très fortement, et l'on peut exécuter dans son intérieur toutes les opérations pyrognostiques qui exigent la présence de l'air et qui ne pourraient pas se faire au contact des matières charbonneuses, telles que les grillages, les scorifications et les coupellations.

Grandeur. On fait des fourneaux de coupelle de diverses grandeurs : les plus grands sont carrés, et ont de 35 à 40 centimètres de côté ; les plus petits sont elliptiques, et leur plus grand diamètre n'a que 18 centimètres. Le plus souvent ces fourneaux sont en terre cuite, comme les fourneaux à réverbère, et on les consolide par des frettes de fer ou par des frettes de cuivre, comme les poêles ; mais dans les grandes usines, où on les tient tous les jours en feu, et où ils sont par conséquent sujets à se dégrader promptement, on les fait souvent en tôle forte garnie de terre intérieurement : c'était même l'usage général autrefois.

En tôle forte.—Les Fig. 1, 2 et 3, Pl. IX, représentent le fourneau décrit par Schlutter, et qui est encore employé dans beaucoup d'usines. Pour fixer à la tôle la

Garni. terre que l'on appelle le *garni*, on rive aux parois intérieures du fourneau des bandelettes de tôle mince de distance à autre, ou bien, ce qui vaut mieux et est plus simple, on implante dans les parois des clous, dont on courbe ensuite la tige en dedans, et auxquels on attache un treillis grossier de fil de fer. Au fur et à mesure que le garni se dessèche, on a soin de remplir, avec une bouillie claire d'argile, les fentes qui peuvent s'y former, et enfin, on le chauffe lentement pour achever de le

dessécher, et pour en opérer la cuisson avant de l'exposer à la haute température que supporte le fourneau pendant les essais. Les anciens docimasistes prescrivaient de vernisser le garni pour l'empêcher de se fendre et de s'écailler, en l'enduisant d'une couche mince d'un mélange de 2 parties de minium et 1 partie de sable quarzeux délayé en consistance de pulpe claire; mais cela n'est pas nécessaire, surtout si pour faire le garni on a employé une bonne argile mêlée avec une proportion convenable de sable ou de terre cuite.

En terre cuite. — Les fourneaux de coupelle ordinaires en terre cuite (Fig. 4, 5 et 6), se composent de trois pièces principales qui se placent l'une au-dessus de l'autre : 1°. le *cendrier,* qui reçoit tous les débris de la combustion, et par lequel l'air s'introduit dans le fourneau; 2°. le *laboratoire,* et 3°. le *dôme.*

Le *cendrier* a au moins une porte, que l'on ferme à volonté quand on veut éteindre le feu ou modérer le tirage. On supprime ordinairement les portes dans les grands fourneaux; mais alors ceux-ci sont placés sur quatre piliers de brique situés aux angles, et qui laissent entre eux de larges intervalles. Cendrier.

Le *laboratoire* ou *foyer,* qui reçoit la moufle, et dans lequel s'opère la combustion, est muni d'une grille à sa partie inférieure, et il est percé de plusieurs ouvertures. La première est large et demi circulaire; elle est destinée à servir d'entrée à la moufle. La seconde, opposée à la première, a pour objet de donner passage à une brique que l'on fait pénétrer assez avant dans le fourneau pour qu'elle puisse servir d'appui au derrière de la moufle : on scelle solidement cette brique avec de l'argile. Les autres ouvertures sont des trous circulaires par lesquels on peut faire passer un ringard pour remuer le combustible et pour le faire descendre sur la grille. Presque toujours on ménage au-dessus de celle-ci, sur trois faces, une large ouverture que l'on peut boucher à volonté avec une porte en terre, et qu'on laisse ouverte quand on veut donner de l'activité à la combustion. Immédia- Laborat. ire.

tement au-dessous de l'ouverture de la moufle, le laboratoire porte une petite tablette que l'on nomme *mentonnière*, sur laquelle on fait avancer ou reculer la porte, les coupelles que l'on retire, ou les charbons qu'on met quelquefois à l'entrée de la moufle.

Dôme. Le *dôme* s'adapte exactement au laboratoire, et se termine en forme de tuyau circulaire légèrement conique; il n'a qu'une ouverture placée sur le devant, et qui est munie d'une porte que l'on peut mettre et ôter à volonté. C'est par cette ouverture que l'on introduit le charbon dans le foyer, et qu'on le range pour le faire tomber autour de la moufle; pour déterminer un bon tirage, on place au-dessus du dôme un tuyau en terre de 3 à 4 décimètres de hauteur, et quand cela est nécessaire, on allonge celui-ci avec des tuyaux en tôle semblables à ceux dont on fait usage pour les poêles.

Moufles. Les *moufles* m, m, m, m (Fig. 2, 3, 6 et 9) que les fourneaux de coupelle sont destinés à échauffer, ont la forme d'un berceau cylindrique légèrement surbaissé, et dont la *sole* est plus longue que large. On les fait avec le même mélange plastique dont on se sert pour les creusets; comme elles ne supportent jamais une très haute température, il n'est pas nécessaire qu'elles soient très réfractaires; l'essentiel est qu'elles aient de la consistance et qu'elles supportent bien les alternatives du froid et du chaud sans se fêler. La paroi du fond des moufles doit être verticale, ou mieux encore un peu inclinée de l'avant à l'arrière, à partir de la partie inférieure, afin que le combustible et les cendres glissent derrière sans pouvoir s'y fixer. Cette paroi, ainsi que les parois latérales, est percée d'une ou deux fentes horizontales de quelques millimètres de largeur : on pratique ces fentes avec un couteau, pendant que la pièce est encore molle, en rejetant les bavures sur le bord supérieur du côté du feu, pour que ces bavures fassent obstacle à l'introduction des flammèches et des corps étrangers dans la moufle. C'est à la faveur de ces fentes que s'établit le courant d'air qui doit opérer les grillages, les coupellations, etc.; il est

donc essentiel qu'elles soient toujours bien libres dans toute leur longueur. Pour placer les moufles on enlève le dôme, on les introduit dans le fourneau, on les ajuste d'une part sur la brique du fond, et de l'autre côté sur le bord de la porte de conduite; et on lute les jointures avec de l'argile. Dans le fourneau en tôle de Schlutter elles sont posées sur deux barreaux de fer cylindriques. Il est important que l'aire soit bien horizontale, pour que les coupelles puissent être d'aplomb, et que les boutons de retour se fixent au centre de celles-ci. La vapeur du plomb qui s'exhale des coupelles use assez promptement les moufles en les corrodant : l'aire se perce plus rapidement que la voûte, parce qu'elle est exposée à être imprégnée d'oxide de plomb toutes les fois qu'un scorificatoire se fend, qu'une coupelle se renverse, ou qu'il arrive dans les essais un accident quelconque. On prolonge sa durée en la couvrant d'une légère couche de craie ou d'os calcinés en poudre, qui est destinée à absorber la litharge en fusion comme une éponge absorbe de l'eau. Les anciens docimasistes faisaient les moufles de deux pièces, la voûte et l'aire, afin de pouvoir renouveler celle-ci séparément; mais cet usage est tout-à-fait abandonné.

Petit fourneau elliptique. — On emploie le fourneau que nous venons de décrire toutes les fois que l'on a un grand nombre d'essais à faire en même temps; il peut contenir quinze et même vingt coupelles de la grandeur la plus ordinaire; mais comme il consomme beaucoup de charbon, on se décide difficilement à le mettre en feu lorsqu'on n'a à faire qu'un petit nombre d'essais, et l'on ajourne souvent des expériences utiles par motif d'économie. Ces considérations ont déterminé plusieurs personnes à construire des fourneaux plus petits, et à chercher à les disposer de manière à ce qu'on pût y faire des essais avec le plus d'économie possible. MM. Aufrye et D'Arcet ont introduit dans les laboratoires, depuis une vingtaine d'années, un petit fourneau qui remplit toutes les conditions désirables.

Dimensions. Ce fourneau (Fig. 7, 8 et 9) est elliptique et n'a que 18 centimètres de largeur et 45 centimètres de hauteur. Son cendrier n'a qu'une ouverture circulaire sur le devant : sa hauteur est telle, que quand le fourneau est placé dessus, et le tout sur une table, l'essayeur puisse, étant assis, suivre aisément l'essai qui passe dans la moufle. Le foyer présente cinq ouvertures, celle de la moufle, celle par laquelle on introduit la brique qui doit porter la moufle; une troisième, placée au-dessous de la mentonnière, qui a la forme d'une fente horizontale, et qui sert à permettre d'introduire le ringard destiné à faire tomber, à travers les trous de la grille, les cendres qui l'encombrent; cette ouverture se bouche à volonté avec le petit coin de terre cuite représenté en *t* (Fig. 9). Enfin, à droite et à gauche, un peu au-dessous de la grille, sont percés, dans le sens du grand arc de l'ellipse, deux trous égaux qui servent à faciliter l'introduction de l'air ou à placer, quand on le veut, la buse d'un soufflet.

Grille. La grille est ordinairement une plaque de terre cuite *gg* percée de trous coniques et entourée d'un fort fil de fer qui l'empêche de tomber en morceaux quand elle se fend : mais on peut la remplacer par une grille en fer.

Moufles. On fait usage pour ce petit fourneau de moufles de deux grandeurs : les unes ont 60 millimètres de profondeur et ne peuvent contenir qu'une seule coupelle; on les fixe dans la feuillure de la porte sans les faire poser sur la brique de derrière; les autres ont 90 millimètres, et sont destinées à recevoir deux coupelles placées l'une devant l'autre; on les fait poser sur la feuillure de la porte et sur la brique de derrière.

Dôme. Le dôme du fourneau est percé, sur le devant, d'une ouverture circulaire que l'on peut fermer avec un bouchon de terre cuite *bb*, et par laquelle on introduit le combustible, etc.

Cheminée. Une cheminée est nécessaire pour déterminer le tirage : cette cheminée est en tôle, de 5 décimètres de hauteur au moins, et s'adapte exactement à l'orifice cylindrique du dôme. A sa base se trouve une petite galerie en tôle *l* (Fig. 5), destinée à recevoir les coupelles neuves, qui s'y échauffent assez for-

tement pendant le travail, pour pouvoir ensuite être introduites sans inconvénient dans la moufle lorsque celle-ci est portée à la chaleur rouge. A quelques centimètres au-dessus de cette galerie on pratique une porte à coulisse *p* (Fig. 5), par laquelle on peut, si on le trouve plus commode, introduire le charbon dans le fourneau, et au-dessus de cette porte on place une clef qui sert à régler le tirage.

MM. Aufrye et D'Arcet ont évalué que le charbon nécessaire pour échauffer ce fourneau ne vaut que 5 centimes, et que celui que l'on dépense ensuite pour chaque essai ne vaut pas plus de 3 centimes. On ne saurait se dissimuler néanmoins que l'extrême petitesse de ce fourneau en rend le service assez embarrassant : si le charbon n'y est pas placé avec un soin minutieux; si les morceaux sont un peu trop gros ou un peu trop petits; si le tirage est un moment ralenti, la température s'abaisse, et l'essai court risque de se *noyer*. Un fourneau disposé semblablement, mais de 25 centimètres de largeur, ne consomme que très peu plus de charbon et est d'un usage beaucoup plus commode. Inconvéniens.

Combustibles. — On se sert pour chauffer les fourneaux de coupelle, de charbon de bois et de coke, comme pour les fourneaux d'essai; mais on doit toujours commencer par employer du charbon de bois seul, parce que le coke serait très difficile à embraser dans le fourneau froid. Quand une fois la chaleur est portée au rouge, on peut alimenter les grands fourneaux avec du coke pur : pour les fourneaux moyens il convient de mêler une certaine proportion de charbon de bois avec le coke; et pour les très petits fourneaux il ne faut employer que du charbon de bois pendant tout le travail.

Fourneaux à soufflet. — Les fourneaux de coupelle devant servir habituellement à des opérations qui n'exigent qu'une température de 25 à 30° p. tout au plus, sont suffisamment alimentés d'air par le tirage qu'occasione une cheminée de quelques décimètres de hauteur. Mais quand il devient nécessaire d'élever la température

davantage, on y parvient aisément soit en allongeant la cheminée avec des tuyaux de tôle emboîtés les uns dans les autres, soit en dirigeant le vent d'un soufflet sous la grille : à l'aide de ce dernier moyen, si le soufflet est assez grand, on peut obtenir tel degré de chaleur que l'on désire, tout comme dans une forge d'essai. On place la buse du soufflet dans un des trous pratiqués dans le cendrier, et l'on bouche avec le plus grand soin toutes les autres ouvertures avec de l'argile. On peut chauffer très fortement le petit fourneau de MM. Aufrye et D'Arcet en lui fournissant de l'air avec le soufflet d'une lampe d'émailleur.

Température. — La température n'est pas à beaucoup près la même dans les différentes parties de la moufle d'un fourneau de coupelle. Si elle est au fond de 21°, elle n'est que de 12° au milieu, et de 8° seulement sur le devant. Dans les fourneaux qui servent habituellement à l'essai des monnaies d'or et d'argent, elle est communément de 24° au fond de la moufle.

Emplacement des fourneaux. — Dans les usines où l'on fait tous les jours un grand nombre d'essais, il est commode de placer le fourneau contre un mur, et de le disposer de telle sorte que l'ouverture de la moufle se trouve dans une pièce, et que toutes les autres, savoir celle par laquelle on introduit le charbon, et les portes du cendrier, communiquent, à travers le mur, dans la pièce voisine. Par cette disposition l'opérateur n'est ni incommodé ni gêné par la chaleur et par la poussière des cendres et des escarbilles, et son travail n'est jamais interrompu par la manœuvre de l'ouvrier chargé de remplir le fourneau de combustible, et d'avoir soin du feu.

Fourneau d'Aikin. — Les fourneaux de coupelle ne sont pas indispensables pour faire des coupellations. Aikin se sert pour cela de son fourneau d'essai à soufflet : il place dans ce fourneau un creuset percé sur un fromage également percé et qui reçoit l'air du cendrier (Fig. 10, Pl. IX). Il met la coupelle sur une grille à une certaine hauteur dans le creuset, et il recouvre celui-ci

avec une tuile à laquelle il adapte un tuyau en tôle qui sert de cheminée, et à travers lequel on peut examiner l'intérieur de la coupelle. Mais ce mode d'opérer est compliqué, et il a d'ailleurs l'inconvénient d'exiger le secours d'un soufflet.

Fourneau de calcination. — On exécute les coupellations de la manière la plus simple et la moins dispendieuse en se servant d'une simple moufle que l'on chauffe dans un fourneau de calcination ordinaire. On place cette moufle sur un ou deux fromages, selon sa grandeur, dans le milieu du fourneau, et à une hauteur telle que l'aire soit à peu près au niveau de la paillasse ; on l'entoure de charbons choisis placés parallèlement à son axe, et l'on recouvre le tout avec un tuyau d'aspiration en tôle à porte latérale (Fig. 3 , Pl. V). La chaleur se propage rapidement : lorsque la moufle est suffisamment échauffée on ouvre la porte du tuyau d'aspiration, on introduit les culots d'essai dans les coupelles, et l'opération marche d'elle-même. Si la coupellation exige une forte chaleur, on tient la porte fermée ; dans le cas contraire on laisse la porte ouverte, et l'oxidation a lieu alors beaucoup plus rapidement. Quand l'opération est terminée, on enlève la moufle, et le fourneau peut être immédiatement employé à d'autres usages. A défaut de moufle, on se sert d'un creuset couché, et au fond duquel on perce quelques trous pour qu'il puisse s'y établir un courant d'air.

Outils. — Les outils nécessaires pour le service des fourneaux de coupelle, sont : 1°. des ringards pour remuer le charbon : ce sont de gros fils de fer fixés dans des manches de bois, et les uns droits, et les autres courbés (Fig. 11 et 12); 2°. des pinces : il y en a de toutes sortes : premièrement, des pinces ordinaires pour prendre le charbon, saisir les portes chaudes, etc. ; secondement, des pinces légères dont les extrémités sont un peu recourbées (Fig. 13), qui servent à placer les coupelles dans la moufle et à les en retirer ; enfin d'autres pinces légères à branches élastiques, les unes droites ou courbées (Fig. 14),

Ringards.

Pinces.

que l'on emploie pour porter les culots d'essai dans les coupelles ; les autres à branches inégales dont l'une est droite et l'autre courbée en croissant (Fig. 15), fort commodes pour mouvoir les coupelles et les scarifications ;

Cuillères. 3°. de petites cuillères en fer (Fig. 16) avec lesquelles on peut porter du plomb granulé dans les coupelles et les

Pelles. scorificatoires ; 4°. des pelles à charbon : pour le petit fourneau de MM. Aufrye et D'Arcet cette pelle a la forme des *mains* dont on se sert chez les marchands de tabac (Fig. 17) ; sa partie antérieure doit être assez étroite pour pouvoir s'engager un peu dans l'ouverture circulaire du

Masques. dôme ; 5°. des masques à ouverture vitrée (Fig. 11, Pl. VIII), qui permettent d'examiner de près les phénomènes de la coupellation, etc., sans être incommodé par la chaleur.

Coupelles. — Nous avons déjà décrit les vases dans lesquels on exécute les grillages et les scorifications. Les coupelles (Fig. 18, Pl. IX), ou vases qui servent à faire l'opération appelée *coupellation*, ressemblent assez, pour la forme, aux têts à rôtir ; mais comme elles sont destinées à contenir et absorber divers oxides métalliques en fusion, et entre autres des oxides de plomb et de bismuth, on ne peut pas les faire en argile, que tous les oxides corrodent promptement. Ces coupelles doivent avoir une texture assez lâche pour que les oxides y pénètrent facilement, et en même temps une solidité suffisante pour qu'on puisse les manier sans les briser ; et, de plus, elles doivent être d'une nature telle, que les oxides de plomb et de bismuth ne puissent ni les fondre ni les corroder. Il y aurait un grand nombre de substances qui pourraient servir pour faire des coupelles et qui rempliraient toutes ces conditions ; mais on ne fait usage que des trois suivantes, parce qu'elles sont très communes, savoir : la poudre d'os calcinés, les cendres de bois et les marnes très calcaires ; les deux dernières n'étant employées que dans les travaux en grand, nous ne nous occuperons que des coupelles d'os.

Préparation. Pour les préparer, on calcine des os de mouton pêle-

mêle avec du charbon, jusqu'à ce que toute la matière animale soit brûlée, et qu'ils soient devenus parfaitement blancs, puis on les pile, on les tamise, et on les lave à grande eau afin d'enlever toutes les substances salines solubles. La poudre lavée n'est autre chose que du phosphate de chaux mêlé de quelques centièmes de carbonate de chaux en partie décomposé par la calcination. On en fait une pâte avec de l'eau; quelquefois, mais rarement, on y ajoute une petite quantité d'argile pour lui donner plus de consistance, et l'on façonne cette pâte en coupelles, dans des moules (Fig. 19, Pl. IX) composés de trois pièces : 1°. la *nonne n*, anneau circulaire en bronze creusé intérieurement en forme de cône tronqué, et dans lequel on met la pâte; 2°. le *moine m*, pièce également en bronze, dont l'extrémité est hémisphérique, et que l'on enfonce à coups de balancier dans la pâte dont la nonne est presque remplie, pour donner à la coupelle la forme intérieure; 3°. un cône plein *c* en plomb, mobile, qui occupe le fond de la nonne, et sur lequel on frappe pour faire sortir la coupelle quand elle a été moulée. Pour que le *moine* n'adhère pas à la coupelle, on le frotte avec de l'huile ou avec du suif, ou bien on saupoudre la pâte placée dans la *nonne* avec de la poudre d'os très fine et sèche. Quand on a fait sortir les coupelles du moule, on les dessèche d'abord lentement à la chaleur d'un poêle, puis on les chauffe plus fortement dans la moufle, pour en expulser l'humidité. On trouve dans le commerce des coupelles de toutes grandeurs, préparées dans des moules différens, depuis le diamètre d'un demi-centimètre jusqu'à 5 centimètres.

Moules.

Pour que les coupelles soient d'un bon usage, il faut, 1°. que la poudre d'os avec laquelle on les prépare ait un certain degré de finesse; 2°. que la pâte ne soit ni trop ni trop peu humide; 3°. et que la compression dans la *nonne* soit opérée avec une certaine force. Une poudre à gros grains, peu mouillée et peu comprimée, donne des coupelles qui n'ont presque pas de consistance, et qui sont trop poreuses : elles se brisent alors sous la moindre pression; et, ce qui est un inconvénient beaucoup plus grave,

Qualités des bonnes coupelles.

il arrive presque toujours que les métaux fins pénètrent dans leur masse sous forme de globules imperceptibles, d'où résulte une perte notable qui rend l'essai fautif. Lorsqu'au contraire la poudre est très fine, la pâte très humide, et qu'on la comprime très fortement, les coupelles ont une grande solidité et sont peu poreuses, le métal fin n'y pénètre pas, mais aussi leur faculté absorbante étant considérablement diminuée, l'opération marche lentement, difficilement, et les essais sont fort sujets à se *noyer*.

CHAPITRE III.

DES OPÉRATIONS QUI SE FONT SUR DE TRÈS PETITES QUANTITÉS DE MATIÈRE.

Avant de soumettre une substance quelconque aux opérations de la voie sèche, il est indispensable de connaître sa nature, c'est-à-dire de savoir quels sont ses élémens principaux, afin de pouvoir lui appliquer les méthodes les plus appropriées : l'examen de ses caractères extérieurs et de ses propriétés physiques fournit déjà beaucoup d'indices; mais ces indices ne sont pas toujours suffisans, et il est souvent nécessaire de rechercher par des expériences chimiques si tel ou tel principe dont on soupçonne la présence y existe réellement. Ces expériences préliminaires se font toujours sur des quantités extrêmement petites et sans prendre de pesées : la plupart s'exécutent à l'aide de l'instrument connu sous le nom de *chalumeau;* quelques-unes pourtant peuvent s'opérer dans des tubes de verre disposés de manière à imiter les appareils pneumatiques, etc. Nous allons traiter successivement de ces deux modes d'essai.

SECTION PREMIÈRE.

Essais au chalumeau.

ARTICLE PREMIER. — *Description des chalumeaux.*

Chalumeau. — Le chalumeau est un instrument simple et commode au moyen duquel on obtient promptement et facilement tous les résultats que peuvent fournir les opérations de la voie sèche, et d'autres résultats que l'on ne pourrait pas obtenir ou que l'on n'obtiendrait qu'avec de grandes difficultés dans les fourneaux. A l'aide de cet instrument dirigé sur un corps en combustion, on produit un jet de flamme pointu ou *dard* qui se trouve à une température très élevée, et c'est

dans ce *dard* que l'on expose, soit seule, soit mélangée avec divers réactifs, la substance que l'on veut examiner.

Le *chalumeau* est connu depuis long-temps, mais il paraît que c'est Swab, chimiste suédois, qui a eu le premier l'idée (en 1738) de l'employer dans les recherches chimiques. Cronstedt, qui a posé les bases de la Minéralogie chimique, en a fait un grand usage. Bergmann en a perfectionné l'emploi, et a publié (en 1779) un traité dans lequel il a fait connaître la manière dont se comportent les principaux minéraux sous l'action de cet instrument. Bergmann était assisté, dans ses recherches, par Gahn; et c'est à celui-ci que nous devons l'état de perfection auquel est arrivée maintenant cette branche de nos connaissances chimiques. Dans ses dernières années Gahn travaillait avec M. Berzelius, et il lui a transmis toutes ses connaissances. Ce dernier savant a lui-même beaucoup étendu les applications du *chalumeau*, et il a publié, sur tout ce qui concerne l'emploi de cet instrument, un traité important où nous avons puisé la plus grande partie de ce qui va suivre.

§ 1er. — Chalumeaux à bouche.

Ancien chalumeau. — Le premier chalumeau dont on ait fait usage était un tube conique en fer, recourbé à angle droit et terminé par un orifice de la largeur d'un trou d'aiguille (Fig. 1, Pl. X).

Chalumeau de Bergmann. — L'eau de l'insufflation bouchant souvent cet orifice, Bergmann adapta au chalumeau une chambre demi cylindrique dans laquelle la vapeur d'eau se déposait (Fig. 2).

Chalumeau de Gahn. — Gahn a modifié le chalumeau de Bergmann en faisant la chambre cylindrique et l'extrémité du chalumeau, de deux pièces (Fig. 3), et il l'a rendu ainsi plus portatif et plus durable.

Chalumeau de Woigt. — Woigt adaptait au chalumeau une chambre circulaire mobile à charnière à son centre (Fig. 4). Cette disposition le rend assez com-

mode, mais en même temps sujet à perdre de l'air quand il commence à s'user.

Chalumeau de Tennant. — Tennant a imaginé un chalumeau très simple : c'est un tube conique fermé sur le petit bout, et auquel on a adapté, à environ 1 pouce de cette extrémité, un autre petit tube aussi conique, courbé à angle droit et mobile à frottement (Fig. 5). L'eau se dépose dans l'espèce de réservoir qui se trouve à l'extrémité du grand tube. Cet instrument est très portatif, mais il fatigue plus la poitrine que celui de Gahn.

Chalumeau de Wollaston. — M. Wollaston a rendu le chalumeau de Tennant plus portatif encore en faisant le grand tube de trois pièces s'emboîtant à frottement les unes dans les autres, comme dans les lunettes d'approche (Fig. 6). Ce chalumeau est très commode et d'un bon usage quand il est fait avec assez de soin pour qu'il ne se perde pas d'air par les jointures.

Comparaison des chalumeaux. — Une longue pratique a fait connaître que les chalumeaux doivent avoir 20 à 25 centim. de longueur. On les fait en argent, en fer bronzé ou en laiton. Les chalumeaux de laiton répandent une odeur désagréable; on garnit leur ouverture avec une embouchure en bois ou en ivoire, afin que les lèvres ne soient pas en contact avec le métal. Les chalumeaux en fer se rouillent à l'air et s'oxident au feu. Les chalumeaux d'argent sont donc les meilleurs. Longueur. Matière.

Becs. — L'extrémité par laquelle sort le courant d'air étant extrêmement mince et pénétrant souvent au centre d'une flamme excessivement chaude, serait exposée à se fondre ou à se brûler si elle était faite avec un métal peu réfractaire et très oxidable. D'un autre côté, comme elle s'obstrue fréquemment par le dépôt charbonneux que produisent les parties de la flamme qui ne sont pas en pleine combustion, il faut nettoyer les becs de temps en temps, ce qui ne peut se faire avec succès et sans les déformer, qu'en dirigeant dessus le jet de flamme d'un

autre chalumeau, pour brûler sa matière charbonneuse. Par ces motifs, l'extrémité pointue des chalumeaux se ait toujours en platine. On ne soude pas le platine au corps de l'instrument; mais on y adapte à frottement de petits becs coniques qu'on peut mettre et enlever à volonté (Fig. 3 et 4). Pour les nettoyer on les ôte, on les met sur un charbon et on projette dessus l'extrémité de la flamme d'un autre chalumeau; ce qui les rend à l'instant aussi brillans que s'ils étaient neufs. On fait ces petits becs, soit avec des feuilles de platine auxquelles on donne la forme convenable sur un moule et que l'on soude à l'or, en employant la plus petite quantité possible de ce métal, afin qu'il ne se forme pas d'alliage fusible; soit en taraudant et perçant un tronçon de fil de platine. Il est essentiel que l'orifice du bec soit bien rond, et qu'il ait un certain diamètre convenable : s'il n'est pas rond, le jet de flamme est irrégulier; s'il est trop petit, le dard ne produit qu'une faible chaleur; s'il est trop grand, la flamme obéit difficilement à l'insufflation, et la poitrine se fatigue beaucoup. Quand l'orifice se déforme par l'usage ou par accident, on lui rend aisément sa régularité en passant à travers une aiguille à coudre et martelant le bec à très petits coups.

Nettoyage.

Orifice.

Chalumeau en verre. — On fait quelquefois usage de chalumeaux en verre, qui consistent en un tube ordinaire recourbé à angle droit, et près de l'extrémité duquel on soude une boule et un bec : ils ont le mérite de coûter fort peu; mais ils sont très fragiles, et il faut d'ailleurs avoir une très grande habitude pour s'en servir, parce que, pour peu qu'on enfonce trop la pointe dans la flamme, elle se fond et elle se bouche.

Forge du pyrognoste. — Les chalumeaux qui sont alimentés par l'air des poumons ont l'inconvénient de projeter de l'eau sur la flamme, et tous ceux dont il vient d'être fait mention ont en même temps l'inconvénient d'occuper la main droite de l'opérateur. M. Couerbe en a fait construire un qui est exempt de ces inconvé-

niens, et qu'il croit propre à faciliter les expériences pyrognostiques. Il lui a donné le nom de *forge du pyrognoste*. Nous allons le faire connaître, quoique l'expérience n'ait pas encore prononcé sur son utilité. Il se compose d'une colonne-support A, d'un réservoir à air cylindrique et muni de trois tubulures B; d'un autre réservoir cylindrique C, destiné à dessécher, par le moyen du chlorure de calcium qu'on y introduit, l'air insufflé dans l'appareil; d'un troisième réservoir E, à huile, qui porte deux mèches concentriques; enfin d'une tige carrée T, entrant à frottement dans la douille de la lampe. (*Voyez* l'Explication des Planches.)

Toutes ces pièces sont tellement disposées, que le réservoir d'air, à l'aide d'un cylindre de jonction F et de la vis qui le presse, peut remonter et descendre à volonté; que la lampe peut suivre le chalumeau dans sa marche; qu'elle peut s'avancer ou se reculer près de la colonne, et par conséquent près du bec qui verse le vent sur la flamme; et qu'enfin elle peut tourner tout autour de la même colonne, ce qui donne beaucoup de facilité pour arranger convenablement la mèche. On place le bec du chalumeau contre les deux mèches, et on l'approche plus ou moins, selon que l'on désire produire le dard minéralogique ou le *flamber*. Quand on n'a pas besoin d'air sec, on supprime le chlorure de calcium, et alors on emploie un autre tube buccal, qui entre à frottement dans le cylindre de jonction, et qui, par sa longueur, ne change rien dans les dimensions de l'instrument.

Les chalumeaux que nous venons de décrire sont appelés *chalumeaux à bouche*, parce qu'on s'en sert en soufflant dedans avec la bouche et dirigeant le jet d'air sur un combustible emflammé, pour en détacher un *dard* à l'action duquel on soumet le corps que l'on veut essayer. Il faut s'accoutumer à produire un jet continu en aspirant et respirant par le nez, tenant toujours la bouche pleine d'air sans le faire passer par les poumons, et l'expulsant par l'action seule des muscles des joues, sans faire aucun effort de la poitrine.

Lorsque l'on en a acquis l'habitude, cet exercice ne cause presque aucune fatigue ; néanmoins on a cherché à s'en dispenser, et l'on a imaginé pour cela divers instrumens à l'aide desquels on se procure un courant continu par des procédés mécaniques.

§ 2. — Chalumeaux mécaniques.

Lampe d'émailleur. — Le plus ancien est la *lampe de l'émailleur* (Fig. 8), dont font usage les souffleurs en verre et les ouvriers qui façonnent les objets en émail. Elle consiste en un soufflet à deux vents que l'on fait mouvoir avec le pied, et dont l'air est projeté sur la mèche d'une lampe par un tuyau dont l'extrémité conique est en fer, en cuivre ou même en verre. L'ouverture de cette extrémité conique est ordinairement beaucoup plus large que celle des becs des chalumeaux à bouche, aussi le dard est-il beaucoup plus volumineux ; mais sa température n'est pas plus élevée, et elle est même presque toujours moindre, parce qu'ordinairement le volume du soufflet est peu considérable par rapport à la largeur de l'ouverture du bec ; cependant en adaptant à celui-ci un bec plus étroit en platine, on peut produire avec une lampe d'émailleur un dard aigu et très échauffé, et obtenir les mêmes effets qu'avec les chalumeaux à bouche.

Vessie comprimée. — Une vessie pleine d'air atmosphérique, à laquelle on ajuste un tube effilé, armé à son extrémité d'un bec en platine (Fig. 9), peut très bien remplacer le chalumeau à bouche ; on fait sortir l'air plus ou moins rapidement, à volonté, en plaçant la vessie entre ses genoux ou sous son bras, et en la comprimant plus ou moins fortement. Pour la remplir quand elle est vide, l'on y introduit de l'air avec un soufflet, après avoir démonté le tube ajusté à son ouverture ; ou bien, ce qui est beaucoup plus commode, on souffle dedans avec la bouche par l'intermédiaire d'un second tube adapté près du premier, et muni d'un robinet que l'on ferme quand on veut faire jouer le chalumeau.

Chalumeau de M. Danger. — M. Danger a imaginé de substituer au tube à robinet, au moyen duquel l'on remplit avec la bouche un chalumeau à vessie, un tube muni d'une soupape pressée par un ressort, qui permet à l'air d'entrer par ce tube et ne lui laisse d'autre issue pour sa sortie que le bec du chalumeau. Par ce moyen, et en disposant les diverses parties de l'appareil de telle sorte que l'ouverture du tube à soupape se trouve à peu près à la hauteur de la bouche de l'opérateur placé pour se servir de l'instrument (Fig. 10), l'on peut, en soufflant de temps en temps, alimenter la vessie de manière à obtenir un jet continu, et en conservant toujours les deux mains libres. Pour faire sortir l'air de la vessie, on la comprime entre les genoux, ou bien on l'enveloppe dans un réseau à l'extrémité inférieure duquel on attache un poids plus ou moins fort, selon le degré de vitesse que l'on veut donner au courant. On fixe l'instrument, au moyen d'une vis de pression (Fig. 10), à une table quelconque. En changeant les becs de l'ajutage, on peut en faire à volonté un chalumeau pour essais docimasiques ou une lampe d'émailleur propre au travail du verre : cependant pour ce dernier usage il ne faudrait pas opérer sur des pièces trop grosses, sans quoi il faudrait souffler continuellement pour entretenir la vessie pleine d'air, et au bout de peu de temps on se trouverait plus fatigué qu'on ne le serait en faisant mouvoir un soufflet avec le pied.

Gazomètre. — On pourrait encore se servir d'un gazomètre quelconque pour produire un courant d'air sans avoir recours à l'insufflation ; mais aucun de ces instrumens, quoique d'une construction plus ou moins compliquée, n'est d'ailleurs aussi commode que le chalumeau à bouche, pour les expériences chimiques : toutes les personnes qui s'occupent de Docimasie ne peuvent point se dispenser d'apprendre à faire usage de celui-ci.

§ 3. — Combustibles.

On emploie pour combustibles dans les essais au chalumeau, des chandelles, des bougies et des lampes à huile ou à esprit de vin.

Chandelles. — Les chandelles donnent une bonne flamme, mais elles ont l'inconvénient de couler beaucoup, parce que l'on est obligé d'incliner la mèche dans la direction que l'on veut donner au dard. M. Danger évite cet inconvénient en plaçant la chandelle dans un tube à ressort *a* (Fig. 10), rétréci à sa partie supérieure sur une hauteur suffisante pour que le suif fondu puisse y être contenu et qu'il ne s'écoule pas par-dessus les bords.

Bougies. — Les bougies ordinaires ont la mèche trop petite pour que l'on puisse en tirer un dard suffisamment échauffé ; il faudrait pour cet usage en faire faire exprès avec de grosses mèches de coton. Gahn s'est servi pendant un temps de trois petites bougies accolées brûlant à la fois.

Lampes à alcool. — Les lampes à esprit de vin sont d'un usage agréable et ont l'avantage de ne pas produire de fumée ; mais elles ne donnent pas assez de chaleur : on ne s'en sert guère que pour chauffer les tubes à la simple flamme sans insufflation.

Lampes à huile. — On emploie maintenant presque exclusivement les lampes à huile, parce qu'elles ont l'avantage de chauffer très fortement, d'être portatives et de ne pas salir comme le suif. L'huile d'olive est la meilleure de toutes : les émailleurs emploient l'huile de colza ou l'huile d'œillet épurées, par économie ; il y en a qui préfèrent les huiles animales ou le suif fondu, dans les lampes, prétendant que ces substances font moins mal à la tête que les huiles végétales. Les mèches sont faites avec des brins de coton comme pour les chandelles ; il est essentiel qu'elles ne soient pas *éventées*, ce qui arrive quand elles sont préparées depuis trop long-temps, parce qu'alors elles brûlent mal, n'aspirent l'huile que lentement, et forment

Huiles.

Mèches.

un charbon volumineux qui absorbe toute la chaleur; les mèches s'altèrent aussi dans les lampes, même lorsqu'elles sont imbibées d'huile; il ne faut donc plus s'en servir quand elles sont trop vieilles.

Lampe de M. Berzelius. — La lampe à essai de M. Berzelius est en tôle vernie. C'est un tube légèrement conique (Fig. 11) de 12 centimètres de longueur; à son extrémité la plus grosse il a 3 centimètres de diamètre, et il est muni d'une douille qui est destinée à recevoir une tige cylindrique en laiton, à laquelle la lampe est suspendue. L'extrémité étroite du tube n'a que 2 centimètres de diamètre; vers cette extrémité le tube présente à sa partie supérieure une ouverture circulaire dont le diamètre est aussi d'environ 2 centimètres; cette ouverture est garnie d'un anneau de laiton taraudé à vis intérieurement. C'est par cette ouverture qu'on verse l'huile dans la lampe : la mèche s'introduit dans un petit bec oblong de fer-blanc fixé sur une plaque ronde de même métal qui entre à plat dans l'ouverture. L'anneau de laiton est un peu plus large que l'ouverture de la lampe, en sorte que la plaque qui porte le bec et la mèche peuvent tourner librement sur le bord saillant qui se trouve au fond de l'anneau. Lorsque l'on ne se sert plus de la lampe, on recouvre le bec avec un couvercle qui se visse dans l'écrou de l'anneau, et on calfate le joint avec une peau que l'on a auparavant bien imprégnée de cire fondue. La jonction est alors si parfaite, que l'on peut retourner la lampe en tous sens et la serrer où l'on veut, et la transporter sans crainte de tacher d'huile les objets avec lesquels elle se trouve en contact.

Support.

Pour se servir de cette lampe, on la monte sur un support au moyen de la douille, et on la tient à une hauteur convenable, soit à l'aide d'une vis de pression, soit au moyen d'un bouchon percé d'un trou *t* (Fig. 11) dans lequel la tige entre à frottement, et que l'on peut hausser ou abaisser à volonté. Le support se compose d'une tige ronde en laiton, d'environ 3 décimètres de longueur, et d'une croix aussi en laiton, faite de deux

bandes longues de 14 centimètres et larges de 1 centimètre, qui s'ajustent l'une sur l'autre à volonté, et au milieu desquelles est percé un écrou qui reçoit l'extrémité à vis de la tige. On démonte cet appareil quand on veut, et on peut loger les différentes pièces dont il se compose dans un étui, de manière à ce qu'elles n'occupent que très peu de place. Souvent, pour rendre la tige moins embarrassante, on la partage en deux parties égales que l'on réunit au moyen d'une vis et d'un écrou.

Lampe d'émailleur. — Tout le monde connaît la lampe des émailleurs (Fig. 12 et 13); M. Danger y a fait quelques modifications, desquelles il résulte qu'elle donne moins de fumée, qu'elle est plus propre, et qu'elle fatigue moins la vue de l'opérateur (Fig. 14). La lampe de M. Danger est munie d'un chapiteau *c*, mobile, à charnière, qui étant rabattu sur la flamme, la contient, l'empêche de s'élever verticalement en pure perte, et la force à se fixer, à se porter tout entière dans le dard, dont elle augmente l'intensité. Un fil de laiton plié en demi-cercle et mobile sur ses deux extrémités *f*, sert à soutenir la mèche et à l'empêcher de toucher les bords de la lampe, et on évite par là l'écoulement de l'huile dans le godet *g*, qui sert d'assiette à la lampe. La mèche doit être placée dans les lampes d'émailleur avec quelque précaution : on prend un écheveau de coton que l'on coupe en quatre ou en six, on dispose les brins les uns à côté des autres, de manière à en former un faisceau plus ou moins gros, et long de 2 à 3 décimètres ; et on y passe légèrement un démêloir pour en bien unir tous les fils : on le place dans la lampe, et quand il est imbibé, on le partage en deux faisceaux égaux que l'on écarte assez pour permettre au courant d'air que l'on dirige entre eux, de les effleurer légèrement sans être gêné dans sa direction : en rapprochant plus ou moins ces faisceaux, et en les émêchant, on parvient facilement à avoir un jet de flamme convenable. Il est à propos de laisser entre les faisceaux et à leur partie inférieure, une petite portion de la mèche,

Mèche.

au-dessus de laquelle le courant d'air soit dirigé. Pour obtenir un bon feu, il faut que l'orifice du chalumeau effleure la partie extérieure de la flamme; s'il pénétrait dans son intérieur, il n'y en aurait qu'une trop petite portion de projetée; s'il s'en éloignait en dehors, la flamme deviendrait bruyante, tremblante, blanchâtre, et donnerait moins de chaleur; mais alors, si le courant d'air était d'ailleurs suffisamment fort, elle s'épanouirait en gerbe, ne produirait pas de fumée, et serait très propre au travail du verre. Position du chalumeau.

Pour obtenir le *maximum* de chaleur que peut fournir la combustion de l'huile, il est indispensable que l'orifice du bec des chalumeaux soit dans un certain rapport avec la grosseur de la mèche. Un long usage a fait admettre à M. Danger les proportions suivantes : Largeur des orifices.

Grosseur des mèches.	Diamètre de l'orifice du tube.	Élévation de la mèche au-dessus du niveau de l'huile.
millimètres.	millimètres.	millimètres.
7	0,3	13
13	0,6	13
27	1,2	20
40	1,8	27
54	2,3	34

Les mèches de 7 millimètres ne servent que pour les essais chimiques.

§ 4. — Nature et effets du dard.

Température du dard. — La masse de flamme qui sort d'un foyer quelconque doit en général être considérée comme un mélange explosif d'air et de vapeur combustible en excès. La température des flammes est des plus intenses, car elle suffit pour décomposer un grand nombre de corps qui résistent à la plus haute chaleur des fourneaux, pourvu que ces corps soient à l'état de vapeurs; de là vient sans doute que les sels de strontiane et de chaux, l'acide borique, etc., colorent la flamme

de l'alcool, les sels en rouge et l'acide en vert; ces substances sont décomposées, et le strontium et le bore brûlent ensuite chacun avec la couleur qui lui est propre. Tennant a fait fondre du platine au feu d'une chandelle, en introduisant dans la flamme un fil de ce métal excessivement fin. H. Davy a conclu du volume qu'occupent les gaz qui proviennent de l'explosion d'un mélange de 1 volume de cyanogène, et de 2 volumes d'oxigène, qu'au moment de la détonation, la température devait s'élever à plus de 4000° centigrades. La vapeur de carbone paraît produire plus de chaleur en brûlant que le gaz hydrogène, car un fil très fin de platine brûle dans la vapeur enflammée du cyanogène, et ne brûle pas dans l'hydrogène.

Lumière. — Les corps qui produisent le plus de chaleur en brûlant ne sont pas ceux qui développent le plus de lumière. Pour qu'un gaz qui brûle soit très lumineux, il faut qu'il tienne un corps solide en suspension : c'est ce corps qui, se trouvant à un état de haute incandescence, répand la lumière. Le gaz hydrogène pur produit une très forte chaleur en brûlant, et n'est presque pas lumineux; le zinc en vapeur répand, lorsqu'il brûle, une lumière des plus éclatantes, parce que le produit de la combustion est un corps solide. D'après ce que nous venons de dire, il paraît évident que si le gaz hydrogène carboné et le gaz oxide de carbone brûlent avec une vive lumière, cela provient de ce que la température qui se développe dans la combustion est assez forte pour décomposer ces gaz, particulièrement le gaz oléfiant, et que de cette décomposition il résulte un dépôt de charbon solide qui reste pendant un certain temps à l'état d'incandescence avant de se brûler lui-même. Mais pour que cet effet ait lieu il faut que le gaz ne soit pas mêlé avec une quantité d'air assez grande pour en opérer immédiatement la combustion complète, parce qu'alors il n'y a plus dépôt de charbon. C'est ce qui arrive, par exemple, lorqu'on enflamme un gaz après l'avoir fait passer à travers une toile métallique : il brûle

alors avec une lumière faible et sans déposer de charbon, mais il produit une température très élevée; tandis que si l'on met le feu à la partie du gaz qui est au-dessous de la toile, sa flamme est très lumineuse, et il se fait un dépôt de charbon sur les fils de la toile.

Nature de la flamme. — On concevra aisément, d'après ce qui précède, la nature compliquée de la flamme d'une chandelle ou d'une lampe brûlant tranquillement dans l'air. Cette sorte de flamme a la forme d'un cône aigu, terminé à la partie inférieure par une hémisphère. Elle présente quatre parties distinctes : 1°. la base, d'un bleu sombre : c'est de la vapeur qui brûle à peine parce qu'elle n'a pas encore acquis une température suffisamment élevée; 2°. un cône intérieur obscur, c'est de la vapeur combustible très échauffée, mais qui ne brûle pas parce qu'elle n'est pas mélangée d'air. M. Sayn s'en est convaincu en plaçant verticalement dans une flamme une toile métallique très fine; ayant détruit par ce moyen la portion de flamme qui se trouvait d'un côté de la toile, en laissant le reste intact; il a pu observer cette partie à travers les mailles, et il a reconnu qu'elle se composait d'un cône obscur entouré d'une enveloppe lumineuse extrêmement mince; d'où il a conclu qu'il n'y avait combustion qu'à la surface. M. Davies a constaté l'exactitude de cette conclusion, en faisant voir que les corps les plus combustibles, le phosphore, le soufre, une chandelle, etc., ne brûlent pas quand on les place dans la partie obscure d'une flamme d'alcool. 3°. La troisième partie que l'on observe dans la flamme d'une lampe est une enveloppe conique très éclatante : dans cette partie il y a combustion avec dépôt de charbon. 4°. Enfin, en observant attentivement, on aperçoit une quatrième partie qui forme une enveloppe conique très peu lumineuse, circonscrivant toute la flamme, extrêmement mince, et qui a sa plus grande épaisseur au sommet. La combustion est complète dans cette partie, et c'est à son contact avec l'enveloppe lumineuse, que la température de la flamme est la plus haute.

Base.

Cône intérieur.

Cône lumineux.

Cône extérieur obscur.

Nature du dard. — Lorsqu'on projette sur la flamme d'une lampe un courant d'air sortant d'un chalumeau dont l'orifice est très étroit, il apparaît une langue de feu pointue et très allongée qui s'étend selon la direction du bec; c'est ce que l'on nomme le dard. Pour que le dard soit net et invariable, il faut que l'extrémité du bec du chalumeau touche à la flamme et n'y pénètre que très peu, et que le vent ne frappe jamais la mèche. Si l'on veut faire produire à celle-ci une flamme volumineuse, on l'écarte un peu en tous sens, ou bien on la partage en deux parties, et alors on dirige le bec du chalumeau entre ces deux parties en l'inclinant d'environ 45°. Si le dard est irrégulier, cela vient de ce que le trou du bec n'est pas bien rond; si le dard offre une apparence de cavité à son centre, c'est que le trou du bec est trop large (il ne doit avoir qu'un demi-millimètre de diamètre tout au plus). Un dard trop grand n'obéit que difficilement au courant d'air qui le produit, et fatigue l'opérateur; un dard trop petit ne produit qu'un faible effet calorifique. Pour produire la plus forte température possible on doit souffler avec un certain degré de force ménagé : si l'on donne trop d'air, la portion qui ne se consume pas refroidit la flamme; si le souffle est trop faible, la combustion n'est pas assez vive, et la chaleur n'atteint pas son *maximum*. Si l'on voulait se servir du chalumeau à bouche pour travailler le verre ou pour chauffer des creusets, etc., il faudrait se servir de becs larges, et souffler sur une grande lampe, en plaçant le bec un peu en arrière de la flamme; alors le dard se projetterait avec bruit, il s'élargirait beaucoup, et il pourrait faire rougir, dans toutes ses parties, un vase de plus de 3 à 4 centimètres de diamètre.

Forme et grandeur.

Force du vent.

Le dard que produit le souffle du chalumeau a à peu près le même aspect que la flamme d'une lampe brûlant librement, mais sa constitution n'est pas tout-à-fait la même. La partie intérieure, que l'on nomme la *flamme bleue*, a la forme d'un petit cylindre; c'est de la vapeur combustible mêlée d'air, mais qui ne brûle pas, parce

Flamme bleue.

qu'elle n'est pas assez échauffée : ce petit cylindre est enveloppé, surtout vers la partie antérieure, d'une flamme étroite très brillante qui résulte d'une combustion incomplète du gaz, et enfin le tout est environné d'une flamme presque invisible dans laquelle tout le carbone est consumé. Le lieu de la plus haute température est, comme pour les flammes libres, dans la partie brillante vers l'extrémité de la partie bleue ; mais cette température est infiniment plus élevée dans le feu du chalumeau que dans les flammes ordinaires, parce que l'affluence de l'air comprimé détermine, dans l'unité de temps, la combustion d'une beaucoup plus grande quantité de matière. La partie bleue du dard est peu chaude, et n'est propre, à cause de cela, à produire aucun phénomène, si ce n'est la réduction de quelques oxides. La partie lumineuse est essentiellement désoxidante et fondante, parce qu'en même temps qu'elle est excessivement chaude, elle renferme une grande quantité de vapeur combustible non brûlée. Au contraire, l'extrémité du dard, qui n'est presque pas lumineuse, oxide, et d'autant plus vivement que l'on s'en éloigne davantage, pourvu que le corps que l'on soumet à son action soit maintenu à la chaleur rouge. Il faut une certaine expérience pour reconnaître la partie de la flamme qui opère le mieux la réduction : pour s'exercer, on peut chauffer un petit grain d'étain sur un charbon, en faisant en sorte de le maintenir à l'état métallique et de réduire l'oxide aussitôt qu'il s'en produit. Pour opérer des réductions il convient de se servir d'un bec fin et de l'introduire à peine dans la flamme : lorsqu'on veut oxider il faut prendre un bec plus large.

Haute température.

Partie lumineuse.

Partie non lumineuse.

Partie réduisante.

§ 5. — Chalumeaux à haute température.

Les chalumeaux alimentés par l'air atmosphérique, que nous venons de décrire, produisent une température supérieure à celle des meilleures forges d'essai, c'est-à-dire à la température la plus haute que l'on puisse obtenir en grand ; mais elle ne paraît pas en différer beaucoup. On a imaginé d'autres chalumeaux qui donnent une tempé-

rature beaucoup plus élevée, et tellement intense, que les corps qui passent pour être les plus réfractaires se fondent presque instantanément lorsqu'on les expose à cette température.

A oxigène. — Le plus simple de ces instrumens est un chalumeau ordinaire que l'on alimente avec du gaz oxigène au lieu d'air atmosphérique : on y fait passer ce gaz soit à l'aide d'une vessie, soit au moyen d'un gazomètre. Pour avoir le *maximum* de chaleur, il faut employer de l'oxigène bien pur, tel que celui que l'on obtient en calcinant du chlorate de potasse.

A oxigène comprimé. — La chaleur est plus forte encore lorsqu'on comprime le gaz au lieu de le faire jaillir sous la tension atmosphérique, et elle l'est d'autant plus que la compression est elle-même plus considérable.

A oxigène et hydrogène. — Si, en employant le gaz oxigène, on se sert de gaz hydrogène au lieu d'huile ou de suif pour combustible, l'intensité de la chaleur augmente encore ; enfin elle atteint son *maximum* quand, pour produire le dard, on combine ensemble de l'hydrogène et de l'oxigène comprimés, employés dans le rapport précisément nécessaire pour former de l'eau, c'est-à-dire dans le rapport de 2 volumes du premier pour 1 volume du second. On peut opérer cette combinaison de deux manières :

Gaz non mêlés. 1°. En faisant arriver tout près l'un de l'autre un courant d'hydrogène et un courant d'oxigène, et mettant le feu au mélange. C'est M. Hare, de Philadelphie, qui paraît avoir employé ce moyen le premier (en 1802). M. Gay-Lussac conseille de disposer ainsi l'appareil. On prend deux cloches à robinet cylindriques, dont les sections horizontales sont doubles l'une de l'autre en surface, et on les fixe dans une cuve pneumato-chimique : la plus grande doit contenir l'hydrogène, et l'autre l'oxigène ; de chacune de ces cloches part un tuyau allant aboutir à un cône de platine un peu épais, percé de deux petits trous très près l'un de l'autre et correspon-

dant aux deux tuyaux. La cuve étant supposée remplie d'eau, et les cloches immergées, les gaz s'en échappent, en ouvrant les robinets, dans le rapport nécessaire pour former de l'eau, et l'expérience a lieu sans le moindre danger d'explosion.

Gaz mêlés.

2° On a imaginé, en Allemagne, de mélanger les deux gaz avant de les enflammer, et M. Broke, en Angleterre, a fait faire, par l'artiste Newmann, un instrument particulier pour employer le mélange comprimé. Cet instrument (Fig. 15 et 16) consiste en une boîte en tôle forte, à laquelle est adaptée, d'une part, une pompe foulante pour y introduire le mélange détonant et l'y comprimer; pompe que l'on peut dévisser, et qui, étant retournée, sert à faire le vide dans la boîte; et, d'une autre part, un ajutage à robinet terminé par un tube capillaire en verre. On met le feu au mélange qui sort par l'extrémité de ce tube, et si celui-ci vient à se fondre et à se boucher, il suffit d'en casser un petit bout pour le remettre en état de service. L'usage de ce chalumeau est extrêmement dangereux, et il est arrivé souvent que la flamme a pénétré dans l'intérieur de la boîte et a rompu celle-ci en produisant une explosion terrible.

Appareils de sûreté.

On a cherché à éviter ces accidens, et l'on a proposé pour cela plusieurs moyens. 1°. En faisant passer le gaz à travers un tube recourbé rempli de mercure et placé dans la boîte, on espérait que le liquide interposé entre la flamme et le gaz empêcherait la combustion de se propager dans la boîte; mais il paraît que ce procédé n'est pas toujours efficace. 2°. M. Berzelius a essayé de remplir le tube intérieur à travers lequel doit passer le gaz pour s'écouler (Fig. 17 et 18), avec des fils de cuivre, serrés les uns contre les autres; mais lorsqu'on coupait ces fils il en résultait un aplatissement à l'extrémité, qui bouchait les vides : on réussirait sans doute en apointissant ces fils sur la meule; il résulterait de leur assemblage des espaces capillaires qui seraient sans doute assez refroidissans pour empêcher la combustion de se propager. 3°. Mais le meilleur moyen consiste à remplir le

tube intérieur avec des rondelles d'une toile métallique très fine qui présente au moins sept à huit cents mailles au pouce carré : on en a fait l'essai sur une vessie remplie de mélange détonant, et il a parfaitement réussi; le tube, à l'extrémité duquel on enflammait le mélange gazeux, a rougi et s'est même fondu vers cette extrémité sans que la combustion se soit propagée dans la vessie. Quoi qu'il en soit, quelque précaution que l'on prenne pour empêcher la détonation, quand on se sert du chalumeau de Newmann, il convient, afin de se mettre à l'abri de tout danger, de placer la boîte dans une pièce qui soit séparée du lieu où l'on opère, par une muraille, en faisant passer le tube qui conduit le gaz à travers cette muraille.

Gomme élastique.

Chalumeau en gomme élastique. — M. Leeson se sert d'une bouteille de gomme élastique pour réservoir, et par ce moyen il éloigne toute possibilité d'accident, car en cas d'enflammation à l'intérieur, la bouteille se déchire sans que l'opérateur puisse être blessé. On prend des bouteilles de gomme élastique de couleur brune, ne portant aucun dessein à leur surface, et qu'on puisse amincir assez pour qu'elles deviennent transparentes; on les met tremper pendant environ un quart d'heure dans l'eau bouillante, puis, lorsqu'elles sont refroidies, on introduit dans le col un tube de cuivre jaune portant près de son extrémité une saillie qui sert à fixer la bouteille, et qu'on attache avec un fil ciré très fort. Ce tube doit être muni d'un robinet vers le milieu de sa longueur, et par son autre extrémité il se visse à une pompe de compression au moyen de laquelle on fait entrer le mélange gazeux dans la bouteille : celle-ci se dilate, et l'on peut lui faire prendre un diamètre de 40 à 45 centimètres, sans craindre de la rompre. Cela fait, on dévisse la pompe et l'on met à sa place le tube du chalumeau, muni à sa partie postérieure, pour plus de sûreté, d'une petite boîte cylindrique remplie de toile métallique fine. Cet instrument peut donner un jet constant pendant une demi-heure ou une heure,

selon la force du courant que l'on veut établir. Au lieu de mélange détonant, on peut le remplir de gaz oxigène ou d'air atmosphérique. La bouteille, en se vidant, ne reprend pas tout-à-fait son volume primitif, mais l'espace qu'elle occupe n'est que d'environ le double. En ramollissant les bouteilles de caoutchou par une immersion de 12 à 24 heures dans l'éther, on peut les gonfler jusqu'à un point tel, qu'étant remplies de gaz hydrogène elles s'élèvent dans l'air. Si l'on en fait sortir le gaz tandis qu'elles sont encore humides, elles conservent leur contractilité ; mais si on les fait sécher auparavant, elles restent distendues.

Gaz d'éclairage.

Gaz d'éclairage. — Selon M. Pfaff, le gaz d'éclairage mêlé avec deux fois et demie son volume de gaz oxigène est préférable au gaz hydrogène pour alimenter le chalumeau de Newmann, parce qu'il donne plus de chaleur, et qu'étant moins inflammable, on peut, sans danger d'explosion, faire écouler le mélange par des tubes plus larges.

Usage.

Au surplus on ne se sert presque plus maintenant des mélanges de gaz détonant, parce que l'on a reconnu qu'ils ne produisent que très peu plus de chaleur que celle qui résulte de la combinaison des deux gaz non mélangés préalablement.

Dard non lumineux.

Dans les chalumeaux à gaz hydrogène et oxigène, le dard n'est presque pas lumineux, parce qu'il ne contient aucune substance solide en suspension ; mais sa température est excessivement élevée. Comme la combustion y est partout à peu près complète, il ne présente aucune partie essentiellement réduisante, si ce n'est par l'effet de la haute température seule.

Avantages.

Les chalumeaux à gaz oxigène et à mélanges détonans sont des instrumens précieux comme moyens de produire des températures excessivement élevées ; mais à cause de cela même ils ne sont pas propres à servir aux essais qui ont pour objet de reconnaître la nature d'une substance minérale ou de ses parties constituantes (objet qui est celui que se proposent les docimasistes), parce

Inconvéniens

qu'à ces hautes températures tout les corps se comportent à peu près de la même manière, ou du moins ne présentent que des phénomènes très peu variés. On ne se sert, pour cet usage, que des chalumeaux à air.

ARTICLE II. — *Supports.*

La substance que l'on soumet à l'action du chalumeau doit être placée sur un support quelconque. On
Charbon. emploie pour supports, 1°. le *charbon* : il faut le choisir bien cuit et sans gerçures; le charbon de pin est le meilleur, mais on peut se servir aussi des charbons de saule, d'aulne et de buis. Il est essentiel que ces charbons ne laissent par leur combustion que très peu de cendres, et que ces cendres contiennent le moins possible de fer et de manganèse. On creuse avec un emporte-pièce en fer-blanc affilé (Fig. 19), ou avec la pointe d'un couteau, une petite cavité dans le charbon qui doit servir de support, pour y placer la matière que l'on veut essayer. M. Berzelius recommande de creuser cette cavité dans la tranche du charbon perpendiculaire aux fibres du bois, parce que les flux s'étalent trop facilement sur les surfaces parallèles aux fibres; cependant on peut aussi opérer sur ces faces. Le charbon est un excellent support, parce qu'il est absolument infusible et qu'il ne se combine presque avec aucune substance. Comme il n'est en contact que sur un petit nombre de points avec la substance que l'on essaie, il n'agit que très faiblement en qualité de réductif : on oxide sur le charbon avec la flamme extérieure du chalumeau, et l'on réduit sur un support incombustible avec la flamme extérieure.

Fil de platine. 2°. Le *platine en fil.* On prend un fil long d'environ 7 à 8 centimètres, très fin, mais non pas assez cependant pour qu'il se plie de lui-même quand il est rouge, et on le recourbe par un bout en forme de crochet (Fig. 20), c'est ce crochet qui sert de support : après l'avoir humecté avec la langue, on l'enfonce dans le flux, qui s'y attache; après quoi on fond celui-ci à la lampe, de manière à en former une goutte qui se fige et s'arrête

dans la courbure. On humecte ensuite la *pièce d'essai* pour la faire adhérer au fondant préalablement solidifié, et l'on chauffe le tout ensemble. En général, toutes les oxidations et les réductions qui n'ont pour objet que les changemens de couleur doivent être faites sur le fil de platine. Smithson aplatissait l'extrémité du fil de platine sous un marteau bien plan, et il enduisait ensuite cette extrémité avec de l'argile réfractaire délayée, et qu'il faisait sécher ensuite.

Feuilles de platine.

3°. Le *platine en feuilles*. Ces feuilles sont fort commodes : elles doivent être très minces, mais sans plier sous leur poids. On les coupe en lames longues de 5 à 6 centimètres et larges de 12 à 15 millimètres. Comme le platine est très mauvais conducteur du calorique, on peut chauffer ces feuilles à la plus haute température par un bout, et les tenir dans les doigts par l'autre bout sans se brûler. Quand on veut chauffer et oxider tout-à-la-fois, on dirige la flamme du chalumeau sur la partie inférieure de la feuille.

Cuillères.

4°. Des *cuillères de platine*. On s'est servi pendant long-temps de petites cuillères de platine excessivement minces (Fig. 21), de forme ronde, d'environ 7 millimètres de diamètre, et 2 à 3 millimètres de profondeur, emmanchées dans un fil fixé dans un bouchon de liége; mais le volume de ces cuillères est un obstacle à l'élévation de la température, et on les a presque abandonnées depuis que Wollaston a eu l'idée d'employer les feuilles.

Disthène.

5°. Saussure se servait d'esquilles de *disthène* très aiguës, à l'extrémité desquelles il collait le grain de matière à essayer, soit avec de l'eau, soit avec de la gomme. Ce minéral est infusible par lui-même, mais outre qu'il est assez rare, il a l'inconvénient d'être attaquable par les fondans, et même de devenir fusible par le contact de beaucoup de corps.

Argile.

6°. Smithson prend un morceau très mince d'*argile réfractaire* réduite en pâte consistante avec de l'eau, il l'enveloppe avec du papier, il l'aplatit sous un marteau, il le découpe en fer de lance, puis il le fait sécher. Ce

sont ces petites feuilles pointues qui lui servent de supports : quand on souffle dessus avec le chalumeau, le papier se brûle, mais l'argile qui reste conserve toute sa solidité : ainsi c'est réellement sur l'argile que pose la matière soumise à l'essai. L'argile réfractaire a les mêmes propriétés que le disthène, mais elle ne résiste pas plus que lui à l'action des fondans.

Coupelles. 7°. M. Le Baillif emploie pour supports de petites *coupelles* excessivement minces (Fig. 22), faites avec un mélange plastique de parties égales de terre de pipe très blanche et de kaolin. Il les prépare au moule : pour cela il a une lame d'ivoire percée de trous circulaires, de la grandeur des coupelles (Fig. 23), et un petit pilon également en ivoire, arrondi à son extrémité (Fig. 24); il pose la lame sur la main, remplit les trous avec de l'argile, et en posant le pilon dans chaque trou, il donne aux petites coupelles la forme intérieure qu'elles doivent avoir; il les détache, les met à sécher, et les fait cuire ensuite, en les laissant exposées à la chaleur blanche pendant au moins cinq minutes. L'avantage que présente l'emploi de ces coupelles est d'étendre en couches d'une grande surface les matières qui sur d'autres supports conservent la forme d'une perle, et par là de mettre les réactions pyrognostiques plus en évidence : elles conviennent particulièrement pour les cas où l'on a à constater des phénomènes de coloration.

Tubes ouverts. 8°. Des *tubes de verre* ouverts par les deux bouts, longs de 6 centimètres au moins, et de 2 à 3 millimètres de diamètre. Ils servent pour les grillages, lorsque l'on veut en même temps examiner les matières pendant l'opération (Fig. 25).

Tubes fermés. 9°. Des *tubes de verre cylindriques* fermés par un bout, de 2 à 3 millimètres de diamètre (Fig. 26). On les emploie pour faire des sublimations à l'abri du contact de l'air.

Matras. 10°. Des *matras en verre*. On donne ce nom à des tubes de verre de 3 à 4 millimètres de diamètre, fermés par un bout, mais renflés en forme d'œuf vers ce bout

(Fig. 27). On s'en sert pour chauffer les substances qui décrépitent, et pour en séparer de l'eau ou toute autre substance non combustible : l'air qui circule dans le tube, à la faveur du renflement, facilite beaucoup le dégagement de la substance volatile ; mais on conçoit que, lorsque cette substance est combustible, il faut au contraire éviter la présence de l'air, et par conséquent se servir de tubes bouchés, mais non renflés.

ARTICLE III. — *Instrumens accessoires.*

Le service du chalumeau exige un grand nombre d'instrumens accessoires dont nous allons donner l'énumération.

Pinces.

1°. Des *pinces*. Il y en a de plusieurs sortes ; les unes sont armées de pointes de platine, et servent à saisir de petites écailles dont on veut éprouver la fusibilité, et qui, abandonnées à elles-mêmes sur un charbon, seraient emportées par le vent du chalumeau. Ces pinces sont en acier (Fig. 19, Pl. I) ou en laiton (Fig. 18; Pl. I); ces dernières doivent être assez résistantes pour que l'on puisse serrer fortement le bouton qui rapproche les branches, sans les endommager (Fig. 18). Enfin, il faut aussi avoir des pinces communes en cuivre ou en fer, dites *Bruxelles* (Fig. 16 et 17, Pl. I), pour arranger la mèche des lampes.

Cisailles.

2°. Des *cisailles* à ressort et à tranchant, très solides (Fig. 1, Pl. XI). On s'en sert pour détacher de petits grains d'essai sur un minéral que l'on craindrait d'endommager en le frappant avec le marteau.

Marteaux.

3°. Des *marteaux* en acier. Il en faut deux, l'un à tête ronde et à panne en forme de cône dont la pointe est arrondie (Fig. 2); l'autre à tête carrée et à panne en forme de ciseau (Fig. 3).

Enclume.

4°. Une *enclume*. C'est un parallélépipède d'acier d'environ 8 centimètres de longueur, 3 centimètres de largeur et 15 millimètres d'épaisseur. Quand on veut piler dessus une substance quelconque, on enveloppe celle-ci ou on la couvre avec du papier pour empêcher les éclats de se disperser.

Couteau. 5°. Un *petit couteau* ou un *fort canif* dont la pointe de la lame et le tranchant soient bien affûtés sans être très aigus.

Limes. 6°. Des *limes* fines implantées dans des manches de bois : il faut en avoir une triangulaire, une plate et une demi ronde.

Mortier. 7°. Un *petit mortier avec son pilon* en agate ou en calcédoine : plus il est petit plus il est commode; il ne doit pas avoir plus de 5 centimètres de diamètre.

Loupes. 8°. Des *loupes* de différentes forces, du genre de celles qui ont été imaginées par Wollaston. Elles sont faites avec deux verres égaux, arrondis d'un côté et plans de l'autre : ces verres sont juxta-posés par leur surface plane, mais on introduit entre eux une feuille de platine excessivement mince, percée à son centre d'un trou circulaire moins large que les verres. Par ce moyen on aggrandit le champ de la vision distincte, et l'objet ne paraît ni entouré d'anneaux colorés, ni déformé. On peut faire des loupes à la Wollaston assez fortes pour que l'objet, étant grossi de 50 fois, soit encore bien distinct. On monte ces loupes comme on le voit (Fig. 4) ou (Fig. 5). Quand on se sert des dernières, on met l'objet sur une lame de verre que l'on tient de la main gauche, on pose l'extrémité *a* de la loupe sur cette lame; et en l'inclinant lentement et plus ou moins avec la main droite, on parvient aisément à mettre l'objet au foyer, et on le voit d'une manière très nette, si d'ailleurs on a soin de faire en sorte qu'il soit bien éclairé.

Réactifs. 9°. Une *boîte à réactifs*. Elle a 25 centimètres de longueur, 3 centimètres de largeur, et à peu près autant de profondeur quand elle est formée. Elle est en bois, et divisée en autant de cases qu'on veut y mettre de réactifs; neuf à dix suffisent. Chaque case est pourvue d'un couvercle particulier, indépendamment du couvercle commun, qui est fixé à la boîte par des charnières de métal, et qui ferme au moyen d'un crochet. Les couvercles particuliers sont pourvus d'articulations taillées dans le bois et tournant sur un axe commun qui s'étend d'une extré-

mité à l'autre de la boîte : ces couvercles doivent être faits avec un très grand soin, afin que dans les transports les réactifs ne puissent pas se mélanger les uns avec les autres.

10°. Un *plateau de tôle* non étamée, de 3 à 4 décimètres de côté, garni d'un rebord de 15 millimètres de hauteur. Ce plateau, sur lequel on pose la lampe pendant les expériences, est destiné à recevoir les matières qui tombent : on en couvre le fond avec une feuille de papier blanc. Plateau.

11°. Un *flacon de fer-blanc verni* fermant à vis, pour contenir la provision d'huile. Flacon.

12°. Un *étui quadrilatère de fer-blanc*, dans lequel on met, lorsqu'on voyage, deux ou trois charbons enveloppés dans du papier. Étui.

13°. Une *petite botte en tôle vernissée* dont l'intérieur est garni de coussins en soie : on met dans cette boîte les becs, ajutages, fils et feuilles de platine ; les aiguilles, etc. Boîte.

14°. Un *étui* de bois ou de fer-blanc pour mettre une provision de tubes de verre. Étui.

15°. Un *briquet* ordinaire portant une poche dans laquelle on met des pierres et de l'amadou, etc., ou bien un briquet phosphorique. Briquet.

16°. Une *petite paire de ciseaux*. Ciseaux.

17°. Une *lampe à esprit de vin* en cristal, munie d'un couvercle usé à l'émeril et fermant bien (Fig. 6). Lampe.

18°. Des *verres de montre* ou des petites *capsules* de porcelaine de 2 centim. de diamètre. Capsules.

19°. Un *triangle-chevrette* en fer (Fig. 7), destiné à servir de *chevrette* et à supporter les capsules et les creusets que l'on veut faire chauffer à la lampe. On le fixe à une tige, à la hauteur que l'on veut, au moyen d'une mâchoire à vis de pression (Fig. 8). Le triangle est à charnière, et l'on peut le plier dans son milieu pour qu'il tienne moins de place dans la trousse. Il porte sur ses côtés des petits trous destinés à recevoir l'extrémité recourbée de fils d'acier au moyen desquels on peut Chevrette.

ainsi diviser le grand triangle en triangles plus petits, pour qu'on puisse poser dessus de très petits objets.

Aiguill. aimantée. 20°. Une *aiguille aimantée*, avec une chappe d'agate tournant sur une tige d'acier (Fig. 10), et un barreau aimanté renfermé dans un étui. L'aiguille aimantée sert pour reconnaître si une substance quelconque possède la vertu magnétique. Quand la vertu magnétique est très faible, il peut arriver qu'elle ne soit pas assez puissante pour détourner l'aiguille de sa position naturelle; mais on peut rendre cette aiguille extrêmement mobile et susceptible d'obéir à la moindre force attractive ou répulsive, par le moyen suivant, qui a été imaginé par Haüy. On place le barreau aimanté dans le plan de l'aiguille, posée sur son pivot et en repos, à une distance telle qu'il n'exerce aucune action sur cette aiguille, et dans une position retournée, c'est-à-dire que le pôle nord du barreau soit en regard du pôle nord de l'aiguille, ou le pôle sud en regard du pôle sud; puis on approche peu à peu le barreau sans changer sa direction; l'aiguille se détourne par l'effet de la répulsion des pôles de même nom, qui sont voisins l'un de l'autre; et il arrive un moment où elle prend une position à peu près perpendiculaire à celle qu'elle avait d'abord : on arrête alors le mouvement du barreau (Fig. 11). Dans cet état de choses, la moindre force magnétique fera faire un mouvement très appréciable à l'aiguille. Pour concevoir cet effet, il faut se rappeler que l'aiguille placée sur son pivot et en repos, est retenue dans sa position par l'action magnétique du globe, et que cette action produit une force de grandeur finie qui est ce qu'on appelle la *force directrice* : il suit de là que pour qu'un corps doué de magnétisme puisse faire mouvoir l'aiguille, il faut que sa force attractive ou répulsive soit plus grande que la force directrice; mais lorsque l'aiguille est dérangée de sa position par l'action répulsive du barreau aimanté, sa force directrice est équilibrée par cette action, et il est évident qu'alors elle peut être mise en mouvement par un corps doué de la vertu magnétique la plus faible. Quoique cette dis-

position soit déjà très favorable pour faire reconnaître la propriété magnétique, elle n'est cependant pas encore la plus avantageuse. En effet, le changement de direction que le corps magnétique fera éprouver à l'aiguille sera tel, que la nouvelle force directrice fera équilibre aux forces qui agissent répulsivement sur le pôle nord et attractivement sur *s*, le pôle sud; or, pour une même augmentation de force, le mouvement ou l'arc décrit sera d'autant plus grand que l'aiguille sera plus près d'être perpendiculaire au méridien magnétique; position que nous avons dit qu'il fallait lui donner. Cela résulte de ce que la force directrice qui tend à faire prendre à l'aiguille la direction du méridien magnétique, varie avec la position de cette aiguille, et est proportionnelle au sinus de l'angle qu'elle fait avec ce méridien, et de ce que, pour des mouvemens angulaires égaux, les sinus croissent beaucoup moins rapidement lorsque l'aiguille est perpendiculaire au méridien que lorsqu'elle est dans une direction oblique : dans les deux cas l'aiguille sera en équilibre et par conséquent très mobile; mais une même force attractive lui fera décrire un plus grand angle dans la première position que dans la dernière. Quand l'aiguille est amenée, par l'influence du barreau, à être presque perpendiculaire au méridien, sa force directrice est à son *maximum :* si l'on approchait un peu plus le barreau, elle ferait subitement un quart de tour et prendrait la direction du barreau, en présentant son pôle sud au pôle nord de celui-ci, ou réciproquement.

Les différens objets qui sont nécessaires pour faire les essais au chalumeau, et que nous venons d'énumérer, ne doivent pas être entassés confusément. Pour les transporter en voyage, on les place dans une trousse en maroquin, de 1 mètre de long et un demi-mètre de large, à cases, que l'on peut rouler sur elle-même, et que l'on enveloppe dans un sac de toile. Pour en faire usage dans un laboratoire, on la serre dans une petite table d'environ 5 à 6 décimètres de côté (Fig. 12), et qui porte six tiroirs, un à droite et un à gauche, que l'on tient entièrement

Trousse.

Table.

ouverts pendant que l'on travaille, et dans lesquels on place les objets les plus usuels; et quatre sur le devant, que l'on n'ouvre que quand cela est nécessaire, et dans lesquels on met tout ce dont on se sert le moins souvent. Chaque pièce est placée dans une petite boîte découverte, en fer-blanc ou en carton, et ces boîtes, quoique de grandeurs inégales, doivent remplir les tiroirs sans vides, quand elles sont placées près les unes des autres. Le dessus de la table est à rebord, afin que les objets que l'on y pose ne puissent pas rouler et tomber à terre : pour la commodité, il faut que les rebords soient plats et assez larges.

ARTICLE IV. — *Réactifs.*

Les substances que l'on soumet à l'action du chalumeau y sont exposées seules ou mélangées avec divers réactifs; ces réactifs sont en petit nombre; nous allons les faire connaître ici sommairement. On trouvera plus de détails relativement à leurs caractères et à leurs propriétés, dans le chapitre V qui traite de tous les réactifs que l'on emploie dans les opérations de la voie sèche.

Carbonate de soude.

1°. Le *carbonate de soude*. Il faut qu'il soit très pur et surtout parfaitement exempt de sulfate; il sert à fondre et surtout à réduire; il s'imbibe dans le charbon aussitôt qu'il est fondu, mais il n'en continue pas moins à agir sur les substances avec lesquelles il est en contact. L'expérience prouve qu'il facilite beaucoup la réduction des oxides, mais on ignore par quelle cause.

Borax.

2°. Le *borax*. Il faut qu'il soit parfaitement purifié par voie de cristallisation; on l'emploie indifféremment fondu ou non fondu. C'est un des fondans les plus généraux et les plus puissans que l'on connaisse; il donne des verres transparens qui, étant chauffés pendant quelque temps à la flamme extérieure du chalumeau, deviennent souvent opaques. On dit alors que ces verres deviennent opaques *au flamber*. M. Wollaston a recommandé l'usage d'un flux composé de 2 parties de carbonate de soude et 1 partie de borax : ce flux est

effectivement très bon pour opérer des réductions, parce qu'en même temps que le carbonate de soude agit favorablement sur l'oxide à réduire, le borax se combine avec les matières étrangères et les fait fondre.

Sel de phosphore.

3°. Le *sel de phosphore*, ou *phosphate double de soude et d'ammoniaque*. Ce sel, chauffé sur le charbon, bouillonne, se boursoufle un peu, abandonne de l'ammoniaque et se change en phosphate acide de soude, qui se fond en un globule incolore et transparent; il agit principalement par son excès d'acide; il décompose tous les sels, même les silicates, et fait fondre la plupart des oxides, en formant avec eux des sels doubles qui, la plupart, sont doués de couleurs caractéristiques et très éclatantes. Pour préparer ce sel on dissout 16 parties de sel ammoniac dans une très petite quantité d'eau bouillante, on y mêle 100 parties de phosphate de soude cristallisé; on filtre la dissolution bouillante et on la laisse refroidir lentement; le sel double cristallise, et l'on rejette l'eau-mère qui ne peut plus en fournir.

Nitre.

4°. Le *nitre*. On l'emploie rarement, et seulement pour porter certaines substances à leur *maximum* d'oxidation, lorsqu'on ne peut pas y parvenir par l'action de la flamme. Pour cela, aussitôt que le globule est fondu, on y introduit la pointe aiguë d'un cristal du sel, et on l'y maintient un instant. La masse se boursoufle, devient écumeuse, et elle prend la couleur due au peroxide qui s'est formé par l'effet du nitre.

Acide borique.

5°. L'*acide borique vitrifié*. Il sert pour faire reconnaître la présence de l'acide phosphorique.

Sulfate de chaux.

6°. Le *sulfate de chaux*. Il sert de fondant au spath fluor.

Spath fluor.

7°. Le *spath fluor*. Il sert de fondant au sulfate de chaux et à d'autres sulfates.

Spath fluor mélangé.

8°. Un mélange de 1 partie de spath fluor et de 4 parties et demie de sulfate acide de potasse ou de sulfate d'ammoniaque, pour reconnaître la présence de la lithine par la coloration de la flamme en rouge, et la présence de l'acide borique par la coloration de la flamme en vert.

Silice. 9°. La *silice*, telle qu'elle provient de l'analyse des silicates, ou préparée en traitant le cristal de roche par les alcalis, etc. On s'en sert pour reconnaître la présence de l'acide sulfurique.

Nitrate de cobalt. 10°. Le *nitrate de cobalt* en dissolution; cette dissolution doit être très pure, exempte d'alcali et un peu concentrée. On l'emploie pour reconnaître la présence de l'alumine et de la magnésie dans les silicates. On la conserve dans un flacon de verre, fermé par un bouchon usé à l'émeril et pointu (Fig. 13), ou par un bouchon de liége dans lequel est implanté un fil de platine un peu aplati à son extrémité. Au moyen de ces bouchons, il est facile de porter sur la pièce d'essai une goutte de la liqueur, aussi petite que l'on veut.

Nickel. 11°. L'*oxide de nickel*, pour reconnaître la présence de la potasse par la coloration en rouge pourpre du verre, que l'on obtient en fondant le minéral avec du borax.

Cuivre. 12°. L'*oxide de cuivre*, pour reconnaître la présence du chlore, de l'iode et du brôme, par la coloration de la flamme.

Étain. 13°. L'*étain* en feuilles minces découpées en bandes de 1 centimètre de largeur, pour ramener certains peroxides à l'état de protoxides, et par là produire des colorations qui n'appartiennent qu'à ces derniers. Lorsque la matière est fondue, on introduit l'angle de la feuille métallique dans le petit bouton, puis on chauffe rapidement, et pendant quelques instans seulement, au feu de réduction. Si l'on soufflait pendant trop long-temps, le métal pourrait se réduire tout-à-fait, ou bien il s'oxiderait une si grande quantité d'étain, que le bouton deviendrait opaque.

Fer. 14°. Le *fer* en fils fins qui servent pour les cordes de clavecin. On l'emploie pour séparer le cuivre, le plomb, le nickel et l'antimoine, du soufre ou des acides avec lesquels ils peuvent être combinés. A cet effet, on introduit le bout du fil dans la perle fondue, et l'on souffle pendant quelques instans au feu de réduction; le métal réduit se sépare en petits globules ou se dépose

sur le fer. On emploie aussi le fer pour reconnaître la présence de l'acide phosphorique, en déterminant la formation du phosphure de fer, qui est reconnaissable par ses propriétés.

15°. Le *plomb* sert à faire des coupellations de matières aurifères ou argentifères; il faut qu'il soit aussi pauvre que possible en argent. Plomb.

16°. Les *cendres d'os* calcinés servent pour faire les coupellations. Cendres d'os.

ARTICLE V. — *Mode d'opérer.*

On ne doit opérer au chalumeau que sur des masses de matières très petites; ces masses doivent avoir, terme moyen, la grosseur d'un grain de moutarde.

Effets à observer. — On soumet à l'action du chalumeau les matières que l'on veut essayer d'abord seules, et ensuite avec addition de fondans et de divers réactifs. Seules, on examine si elles décrépitent, si elles perdent leur transparence, si elles changent de couleur, si elles laissent exhaler quelques substances volatiles condensables, telles que de l'eau, du soufre, du sélénium, de l'arsenic, etc.; si elles répandent de l'odeur, si elles colorent la flamme, si elles acquièrent de la saveur, et quelle espèce de saveur; si elles brûlent, et comment; si elles se fondent, avec boursouflement ou non, en verre transparent, translucide, opaque, incolore ou coloré, susceptible ou non de cristalliser par refroidissement, ou de perdre sa transparence, soit en se solidifiant, soit au *flamber;* si elles produisent un *émail* ou une *fritte*, etc.; si elles se réduisent, si la réduction est partielle ou totale; et, dans ce cas, quelle est la couleur du métal, s'il est cassant ou malléable. Sans flux.

Quand on chauffe la substance à essayer avec des flux, on examine de même les phénomènes de fusion, de coloration, de réduction, etc., qu'elle présente. Dans ce cas, il faut en général continuer l'insufflation pendant quelque temps, environ deux minutes, et ne mettre la substance à essayer, dans le flux, qu'à petites doses, Avec flux.

de manière à n'en saturer celui-ci que peu à peu. Les essais avec les flux sont les plus importans, parce qu'ils offrent ordinairement des caractères très saillans. Lorsqu'on emploie le borax ou le sel de phosphore, on fait d'abord fondre le flux, puis on implante dans la boule un petit grain de la substance à essayer, ou bien on la recouvre d'une très petite quantité de cette substance réduite en poudre, et l'on chauffe alternativement au feu d'oxidation et au feu de réduction, en faisant toujours grande attention aux variations d'aspect et de couleur que présente le bouton fondu : on a soin aussi d'observer si ce bouton perd sa transparence par le refroidissement ou au *flamber*.

Voici comment s'exécutent au chalumeau les principales opérations de la voie sèche.

Calcination. *Calcination*. — Quand la matière n'est ni oxidable ni réductible, et quand elle ne décrépite pas, on la calcine en la chauffant sur un charbon ou sur une feuille de platine. Si elle était oxidable, on emploierait le feu de réduction sur le charbon; et, dans le cas contraire, le feu de réduction sur le platine. Quand elle est susceptible de décrépitation, on la chauffe dans un tube de verre ; ou, si elle exige une forte chaleur, on la place dans un pli d'une feuille de platine, de telle manière que les substances volatiles qu'elle peut contenir puissent se dégager sans que les éclats se dispersent. On peut encore la mettre dans une petite cavité en forme de creuset, pratiquée dans un morceau de charbon que l'on recouvre avec un autre morceau de charbon, en laissant une petite ouverture pour l'introduction de la flamme.

Distillation. *Distillation sèche*. — Lorsque l'on veut recueillir, pour les examiner, les substances qui se dégagent par la chaleur, d'une matière quelconque, on chauffe celle-ci dans un matras, à la simple flamme de la lampe à alcool, si la substance n'exige pour se dégager qu'une faible chaleur, ou dans un tube de verre fermé par un bout, au feu du chalumeau, si l'action d'une forte chaleur est nécessaire.

L'eau que contiennent les minéraux se dégage en général avec une grande facilité, et se condense en gouttelettes dans le tube : quelquefois il se dégage successivement plusieurs substances qui se condensent dans différentes parties du tube ; par exemple, de l'eau et des bitumes.

Grillage et combustion. — Quand on veut faire un grillage ou une combustion sans recueillir les substances qui peuvent se dégager, on chauffe la matière au feu d'oxidation du chalumeau, sur une feuille de platine ou même sur un charbon. On ne manque pas de faire attention à l'odeur qui se manifeste presque toujours, parce qu'elle est propre à faire reconnaître la nature du corps qui se dégage, et il est même bon de chauffer alternativement au dard extérieur et au dard intérieur, pour favoriser la volatilisation de l'arsenic, et parce que cette substance se fait mieux reconnaître par l'odeur qu'elle répand, au feu de réduction qu'au feu d'oxidation. Lorsqu'on grille, et qu'on veut condenser les substances qui se dégagent pendant l'opération, on se sert d'un tube ouvert : on place la matière dans ce tube, à peu de distance de l'une de ses extrémités; on incline le tube de manière que cette extrémité soit la plus basse, et l'on dirige la flamme du chalumeau sur le grain qui doit être grillé, en inclinant plus ou moins le tube, selon que l'on veut établir dans son intérieur un courant d'air plus ou moins rapide. Ce courant d'air effectue le grillage et entraîne avec lui toutes les substances qui se volatilisent. Celles de ces substances qui restent à l'état gazeux se répandent dans l'atmosphère; elles sont presque toujours reconnaissables à leur odeur : comme la plupart sont acides, on peut aussi constater leur existence en mettant à l'entrée du tube un morceau de papier bleu légèrement humecté. Quant aux substances volatiles condensables, elles se déposent sur les parois intérieures du tube, à des distances différentes de la pièce d'essai. Grillage.

Réduction. — On opère les réductions au feu de la partie lumineuse du dard, sur le charbon ; non qu'elles ne puissent se faire aussi bien sur le platine, mais parce que Réduction.

le plus souvent il se formerait un alliage avec le métal réduit. Les réductions sans addition sont assez difficiles à faire, parce qu'il faut chauffer fortement en mettant toujours le grain d'essai dans la flamme lumineuse; mais l'addition du carbonate de soude ou du flux de Wollaston les rend beaucoup moins embarrassantes; aussi emploie-t-on presque toujours ces flux, le premier dans les cas les plus fréquens, le second quand la substance à essayer est mélangée avec des substances très difficiles à fondre. Voici comment on procède : on pulvérise la matière d'essai, on la pétrit dans le creux de la main avec du flux humecté, à l'aide de la lame du couteau; on place le mélange sur le charbon et l'on fait un bon feu de réduction. Si la matière est difficile à réduire, on ajoute une nouvelle dose de fondant et on souffle, et ainsi alternativement jusqu'à ce que le charbon ait tout absorbé; puis on détache la matière avec le charbon qui l'entoure, et l'on examine à la loupe si elle renferme des grenailles métalliques : si le métal est en très petite proportion ou à l'état pulvérulent, on pulvérise le tout dans le mortier d'agate, on lave la poussière par décantation avec le plus grand soin, et on l'examine même à la loupe : s'il y a un métal ductile, il reste sous la forme de petites paillettes brillantes et facilement reconnaissables; si le métal est cassant, le résidu est une poudre pesante qui laisse presque toujours des traces métalliques sur le mortier. On reconnaît aisément par ce procédé la présence de 0,08 à 0,10 d'un métal quelconque, et avec de l'habitude on parvient même à découvrir, dans un grain d'essai, jusqu'à $\frac{1}{500}$ d'étain et la plus petite trace de cuivre.

Sans flux.

Fusion. — Pour examiner si une substance se fond sans addition, dans le cas où elle se casse en grains arrondis, on place un de ces grains sur le charbon et l'on souffle : si elle se casse en fragmens aigus, on saisit un de ces fragmens avec la pince à pointes de platine et l'on chauffe l'un de ses bords les plus aigus au feu le plus fort du dard. Lorsque la substance est très réfractaire on la réduit en poudre très fine dont on fait ensuite une pâte claire avec de

l'eau ; on met une goutte de cette pâte sur le charbon et on la chauffe pour la dessécher ; elle se prend en un gateau plat et consistant ; on saisit ce gateau avec la pince et l'on chauffe une de ses arêtes. La fusion avec les réactifs est très variée. Quand on emploie le carbonate de soude, on opère toujours sur le charbon, parce qu'alors la matière forme un globule, tandis qu'elle s'étale sur les surfaces métalliques. Il faut en général souffler longtemps et fortement, et n'introduire la substance à essayer dans le fondant qu'à petites doses, mais cependant en continuant jusqu'à ce que celui-ci s'en trouve saturé, parce qu'alors le verre qui en résulte offre des couleurs plus intenses et des caractères plus tranchés. Lorsque la couleur est tellement foncée que le globule paraît opaque, on peut s'assurer de sa transparence en dirigeant la flamme dessus dans une certaine direction, ou en le comprimant pour l'amincir, avant qu'il se fige, avec des pinces plates que l'on a préalablement chauffées. On peut encore essayer d'étirer la masse vitreuse, au premier instant du refroidissement, en fils assez fins pour qu'ils soient transparens sous une vive lumière. Avec flux.

Lorsque l'on a coloré un verre par un oxidule, au feu de réduction, il arrive quelquefois que le bouton se réoxide, et change par conséquent de couleur pendant le refroidissement du charbon. Pour éviter cet inconvénient, on fait tomber le bouton encore bien liquide sur un corps froid, par exemple sur le plateau qui supporte la lampe, pour le solidifier subitement.

Coupellation. — On peut faire au chalumeau l'épreuve de toutes les matières aurifères et argentifères, soit dans les petites coupelles de M. Le Baillif, soit, ce qui vaut beaucoup mieux, dans des coupelles semblables faites avec de la poudre d'os ; soit sur le charbon même. Dans ce dernier cas on creuse un trou dans le charbon et on le remplit avec de la poussière d'os excessivement fine dont on a fait une pâte consistante avec de l'eau pure ou contenant en dissolution un peu de carbonate de soude ; on comprime cette pâte avec le pilon d'agate, Coupellation.

on la dessèche, on met dessus la matière d'essai, préalablement fondue avec du plomb, et l'on chauffe au dard extérieur jusqu'à ce que tous les métaux étrangers soient oxidés. Cette épreuve est extrêmement délicate, et fait découvrir les plus petites traces d'or et d'argent : on peut même doser ces métaux en suivant un moyen qui est dû à Wollaston, et qui consiste à comparer, à l'aide du micromètre, le petit bouton obtenu, avec plusieurs petits grains dont les poids sont connus, pour reconnaître quel est celui de ces grains dont il se rapproche le plus par le volume. On se procure des grains excessivement petits, dont les poids soient connus, en prenant des fils d'or et d'argent très fins, de longueur exactement déterminée, que l'on pèse, et dont on coupe des bouts de longueurs inégales, mais mesurées avec le plus grand soin, et en faisant fondre chacun de ces bouts en globules au chalumeau.

ARTICLE VI. — *Phénomènes caractéristiques.*

§ 1er. — Coloration des flammes.

Généralités. — Dans les expériences que l'on fait au chalumeau, on remarque que beaucoup de corps ont la propriété de communiquer à la flamme une couleur tranchée ou du moins une nuance particulière. Quand la couleur est tranchée, elle est propre à servir de caractère pour faire reconnaître la présence des corps que l'on sait avoir la faculté de la produire. Souvent la coloration, quoique très apparente, ne se manifeste qu'à une certaine époque de l'essai et seulement pendant un temps très court. Ces sortes d'épreuves sont donc en général très délicates et exigent que l'on observe avec l'attention la plus soutenue les différens aspects que la flamme peut offrir. Quelques-unes de ces épreuves peuvent se faire par les moyens ordinaires que l'on suit pour fondre les corps au chalumeau; mais la plupart exigent des précautions particulières que nous allons faire connaître, d'après M. Buzingeiger.

Opérations. Comme c'est presque toujours dans la partie bleue du

dard que les colorations caractéristiques se manifestent, il est très important de faire en sorte que cette partie soit bien distincte : on y parvient en coupant obliquement la mèche de la lampe, la pointe la plus élevée étant à la droite, et en ouvrant longitudinalement la mèche pour y introduire la pointe du chalumeau. Cette mèche doit être faite avec du fil de coton écru, parce que le blanchîment se fait souvent avec du chlorure de chaux, qui communique à la flamme extérieure une teinte jaune rougeâtre. Il faut aussi avoir soin de ne pas employer d'huile qui ait été purifiée par l'acide sulfurique : cet acide, quand il en reste dans l'huile, pouvant influer sur la couleur de la flamme, et ayant d'ailleurs l'inconvénient de détériorer très promptement la mèche; ce qui oblige de la recouper très souvent. M. Turner dit que les expériences sur la coloration des flammes se font mieux au feu d'une chandelle qu'à la lampe. Quant à la manière de souffler, on doit s'exercer à acquérir assez d'habileté pour pouvoir maintenir la flamme bleue conique bien prononcée, et de longueur constante, et surtout sans que la flamme jaune vienne s'y mêler : on aperçoit alors très distinctement la vapeur bleue qui enveloppe le cône intérieur, surtout si l'on opère dans une chambre obscure, comme il convient de le faire.

Phénomènes.

Pour faire une épreuve, on saisit la pièce d'essai avec la pince de platine, et on l'introduit de bas en haut dans la flamme bleue, devant la pointe du cône. Aussitôt la vapeur bleue est remplacée par une atmosphère jaune rougeâtre dont l'étendue et l'intensité dépendent de la nature des corps soumis à l'essai. Peu à peu cette atmosphère diminue et disparaît; alors la vapeur bleue baigne la pièce d'essai sans être altérée, et sans être à peine visible, ou bien elle prend une couleur qui varie avec la nature des corps, parce que c'est à cette époque de l'expérience que ceux de ces corps qui peuvent se volatiliser se réduisent en vapeur. La forme que doit avoir la pièce d'essai dépend de circonstances particulières; il faut toujours tâcher qu'elle présente une pointe ou un

tranchant : quelquefois on est obligé de la pulvériser et de la réduire sur le charbon en un gâteau plat, dont on puisse présenter une des arêtes à l'action du chalumeau.

Circonstances de la coloration.

Il y a des substances qui peuvent colorer la flamme sans perdre l'état solide : mais généralement la coloration est beaucoup plus intense quand il y a fusion. Pour quelques corps la coloration n'a lieu qu'à la faveur de certains flux : alors on fait l'essai en prenant un fil de platine pour support, à moins que ce métal ne soit attaquable par quelques-uns des élémens de la matière, auquel cas il faut faire l'essai sur le charbon.

Flamme rouge.

Faits particuliers. — M. Buzingeiger a constaté les faits suivans par des recherches sur la coloration des flammes. On ne connaît jusqu'ici que trois substances qui présentent la couleur rouge ; ce sont, la strontiane, la chaux et la lithine : la nuance est celle du carmin foncé. Le carbonate et le sulfate de strontiane offrent au premier instant une atmosphère faible, mais bientôt elle est remplacée par la belle couleur rouge qui est permanente. Le mélange de la baryte fait disparaître la réaction de la strontiane. Le spath d'Islande et l'arragonite donnent une couleur un peu moins intense que celle produite par la strontiane, aussitôt que l'acide carbonique est chassé. Les dolomies et les calcaires impurs ne colorent pas la flamme, ou ne la colorent que très faiblement Le spath-fluor donne une couleur rouge intense ; le sulfate de chaux n'en produit qu'une faible ; le phosphate et le borate n'en donnent pas. Quand on introduit à peine dans le dard bleu un morceau, de forme circulaire, d'une substance qui renferme de la lithine, bientôt après sa fusion paraît un trait rouge pourpre d'une grande intensité ; mais la couleur disparaît promptement, et elle ne se montre de nouveau que si l'on introduit dans la flamme une partie de la pièce d'essai qui n'ait pas encore été chauffée. Le pétalite d'Uto, qui contient beaucoup de lithine, ne colore cependant la flamme que très faiblement.

Flamme bleue.

La flamme extérieure du chalumeau est colorée en bleu clair par l'arsenic, en bleu un peu plus foncé par

l'antimoine, et en un beau bleu ciel par le plomb : avec la galène antimoniale le bleu est d'abord clair, et devient ensuite bleu ciel.

Flamme verte.

On ne connaît que trois substances qui donnent à la flamme une couleur verte ; ce sont : l'acide borique, la baryte et l'oxide de cuivre. L'acide borique naturel et artificiel donne un beau vert, le borate de chaux, le datolithe et la botriolithe donnent une couleur verte moins distincte. Le borax produit une forte atmosphère rougeâtre, et ne montre la couleur verte que lorsqu'on l'arrose préalablement avec de l'acide sulfurique. Tous les autres minéraux qui renferment de l'acide borique donnent la même réaction lorsqu'on les introduit avec quelque précaution dans la flamme bleue sans les mélanger avec aucun flux. M. Turner préfère, pour faire ces épreuves, ajouter à la matière une certaine quantité de son flux, composé de spath-fluor et de bisulfate de potasse. Selon M. Fuchs, quand on chauffe au chalumeau un phosphate solide après l'avoir mouillé avec de l'acide sulfurique, il colore la flamme en vert comme l'acide borique. Tous les minéraux qui contiennent de la baryte colorent la flamme en vert clair tirant sur le bleu : la réaction est très prononcée : la couleur ne se manifeste que quand la matière commence à fondre, mais elle devient de plus en plus belle et dure long-temps. La plupart des minéraux qui contiennent du cuivre, même en petite quantité, donnent à la pointe du dard bleu une belle couleur verte. Les minerais de plomb qui contiennent un peu de cuivre produisent une flamme d'un beau bleu dont l'extrémité est verte. Les minerais de cuivre cessent de colorer la flamme quand on y ajoute du sel de phosphore, à moins qu'ils ne contiennent du chlore, du brôme ou de l'iode.

§ 2. — Réaction des alcalis et des terres.

Nous ferons connaître, dans le cours de cet ouvrage, les caractères que présentent, au chalumeau, les métaux purs, leurs principales combinaisons, et les minéraux qui

les renferment : nous nous bornerons ici à donner quelques notions sur les réactions pyrognostiques des alcalis et des terres.

Potasse. *Potasse.* — Selon M. Harkort, pour reconnaître la présence de la potasse, on dissout dans du borax de l'oxide de nickel, de l'oxalate ou du nitrate de nickel bien purs et surtout parfaitement exempts de cobalt, et l'on ajoute à la matière vitreuse la substance à essayer : si celle-ci contient de la potasse, on obtient de suite un verre d'un bleu très distinct. La présence de la soude n'empêche pas cette réaction. La potasse communique à la flamme une légère couleur lilas.

Le carbonate de potasse dissout une assez grande quantité d'oxide de cobalt, et donne avec cet oxide, sur le platine, une boule noire sans mélange de rouge quand elle est froide.

Soude. *Soude.* — On ne connaît aucun bon caractère pour reconnaître la présence de la soude. Cet alcali élargit la flamme et la colore en jaune; mais plusieurs autres substances produisent le même effet. Il ne dissout que très peu d'oxide de cobalt, et donne une boule qui est d'un rouge pâle tant qu'elle est fondue, et grise à l'état solide; la partie qui s'étend sur la feuille de platine y forme un émail d'un rouge sombre.

Lithine. *Lithine.* — On a vu que les substances qui renferment de la lithine colorent la flamme bleue en rouge. Cet effet a lieu sans l'aide d'aucun flux, mais, selon M. Turner, d'une manière plus marquée, si l'on emploie le flux composé de spath fluor et de bisulfate de potasse ou de sulfate d'ammoniaque. La lithine libre attaque le platine sur lequel elle a été chauffée et laisse autour une tache d'un jaune sombre. Le même effet a lieu avec les minéraux qui en contiennent, quand on y ajoute de la soude; mais ce caractère est équivoque : l'addition de la potasse empêche au contraire cette réaction d'avoir lieu.

Baryte. *Baryte.* — Selon M. Buzingeiger, les minéraux qui contiennent de la baryte colorent la flamme en vert clair tirant sur le bleu. La baryte caustique et son carbonate

donnent, avec le borax, un verre transparent qui devient opaque en refroidissant ou par le flamber; et avec le sel de phosphore, un verre transparent qui prend l'aspect de l'émail par le refroidissement, lorsqu'il est saturé; avec le carbonate de soude, ils fondent et passent dans le charbon; avec le nitrate de cobalt, ils donnent une boule d'un rouge foncé briqueté tant qu'elle est chaude, et qui perd sa couleur en se refroidissant.

Strontiane. — Les sels de strontiane jaunissent d'abord la flamme, puis ils la colorent en rouge après qu'ils sont devenus phosphorescens. La strontiane se comporte avec le borax et le sel de phosphore comme la baryte; mais la strontiane caustique ne fond pas avec le carbonate de soude, et son carbonate ne se fond avec ce réactif que quand celui-ci est en excès. Avec le nitrate de cobalt elle se colore en noir, sans fondre comme la baryte. Strontiane.

Chaux. — La plupart des sels de chaux colorent la flamme comme les sels de strontiane, mais avec moins d'intensité. Les silicates qui contiennent cette terre ne produisent pas cette coloration. La chaux est infusible sans addition; elle donne, avec le borax, un verre transparent qui devient cristallin et d'un blanc de lait imparfait après le refroidissement; avec le sel de phosphore, un verre transparent mêlé de phosphate de chaux non fondu ou d'aiguilles cristallines; elle ne se fond pas avec la soude, et elle donne avec le nitrate de cobalt une masse noire ou gris sombre infusible. Les silicates doubles de chaux et d'alcali ou d'alumine ont la propriété de se boursoufler et de se couvrir d'écume tant qu'on les tient en fusion sur du charbon. Chaux.

Magnésie. — La magnésie se comporte avec les divers flux à peu près comme la chaux. Avec le nitrate de cobalt, elle prend une belle couleur de chair pâle. La présence de la silice n'empêche pas cette coloration, et celle-ci persiste lorsque l'on chauffe jusqu'à fusion. Magnésie.

Alumine. — Cette terre est infusible sans addition: avec le borax, elle donne un verre transparent à froid Alumine.

et à chaud, quand le borax domine, et au contraire, opaque et un peu cristallin quand l'alumine est employée en forte proportion; avec le sel de phosphore, elle forme un verre toujours transparent; avec la soude, elle donne un composé infusible; avec le nitrate de cobalt, au moyen d'une insufflation énergique, elle se colore en un très beau bleu. Tous les composés qui renferment de l'alumine présentent ce caractère, pourvu qu'ils ne contiennent aucun oxide métallique. Pour le mettre en évidence, il faut chauffer fortement, mais en évitant de faire fondre la matière d'essai, parce que beaucoup de composés dans lesquels il n'y a pas d'alumine se colorent cependant en bleu quand on les chauffe jusqu'à fusion.

Glucine. *Glucine.* — Elle se comporte, avec les flux, comme l'alumine; mais avec le nitrate de cobalt, elle ne donne qu'une masse noire ou d'un gris sombre.

Yttria. *Yttria.* — Elle se comporte comme la glucine.

Zircone. *Zircone.* — Elle se comporte, avec les flux, comme la glucine. Quand on la chauffe seule jusqu'à l'incandescence, elle jette un éclat éblouissant.

Thorine. *Thorine.* — Elle est infusible sans addition et avec la soude; elle donne, avec le borax, un verre transparent qui ne devient pas opaque au flamber, mais perd sa transparence en se refroidissant, lorsqu'il est saturé de thorine; elle ne se fond que très difficilement avec le sel de phosphore.

SECTION II.

Opérations qui se font dans des tubes de verre.

ARTICLE PREMIER. — *Généralités.*

Avantages. On peut, en n'employant pour vases que de simples tubes de verre, droits ou courbés de diverses manières, et en n'opérant que sur de petites quantités de matière, faire très facilement et en très peu de temps une multitude d'expériences qui sont propres à faire reconnaître

la nature et les propriétés de la matière que l'on soumet à l'essai, et qui permettent en même temps de recueillir et d'examiner les différens produits que cette matière peut fournir. Les tubes de verre sont très commodes aussi pour conserver les substances précieuses dont on n'a que de petites quantités, ou qui peuvent se dissiper par vaporisation. Dans ce dernier cas on les bouche hermétiquement à la lampe, après qu'on y a introduit la substance. Nous trouvons à ce sujet des détails très intéressans dans le *Traité des Manipulations chimiques* de M. Faraday.

Foyer. Ces sortes d'expériences se font ordinairement à la flamme d'une lampe à alcool; mais à défaut de lampe, on peut se servir d'un feu de charbon.

Tubes. — Les tubes que l'on emploie doivent avoir tout au plus 25 millimètres de diamètre et 15 centimètres de longueur, et le verre ne doit avoir guère plus d'épaisseur qu'une forte carte à jouer ou qu'un carton mince : lorsqu'ils sont très étroits et un peu épais, ils peuvent supporter des pressions intérieures extrêmement fortes sans se briser. M. Brunel a reconnu par Résistance. expérience, qu'un tube de cristal dont l'épaisseur est au diamètre intérieure :: 5 : 9, peut résister à la pression de 135 atmosphères; mais sa ténacité diminue beaucoup à une température voisine de celle qui est suffisante pour le ramollir. On ne peut pas le tenir long-temps à la chaleur rouge, parce qu'alors ils se fond tout-à-fait, ou bien il devient tellement mou, que la moindre émission de substances gazeuses suffit pour le percer.

Porte-tube. — Pour conserver les tubes dans une position verticale, ou dans toute autre position convenable, on les met dans un gobelet, ou bien on les implante dans un morceau de liége lesté à sa partie inférieure avec du plomb. Si l'on en a un grand nombre, on se sert d'un râtelier composé de deux planches, dont l'une, per- Râtelier. cée de trous de divers diamètres, est soutenue à 6 ou 8 centimètres au-dessus de l'autre; on peut aussi remplacer la planche percée par un treillis métallique.

Papier. *Manche.* — Pour tenir à la main, sans se brûler, des tubes que l'on veut chauffer fortement, on les enveloppe, vers la partie supérieure, avec une bande de papier étroite et pliée en 8 ou 10, et dont on tortille les deux extrémités l'une sur l'autre, de manière à en faire une espèce de manche. Quand la chaleur doit être forte, on emploie
Fil. un fil métallique au lieu de papier (Fig. 13), ou bien on
Liége. se sert d'un morceau de liége allongé, à l'extrémité duquel on perce un trou dans lequel on fait entrer le tube à frottement. Lorsqu'il est nécessaire que la surface du tube soit tout entière à découvert, on enfonce dans son ouverture un bouchon de liége taillé en forme de prisme à quatre ou cinq faces, de manière à ce que les vapeurs puissent avoir une issue, et ce bouchon sert de manche.

ARTICLE II. — *Opérations.*

Le verre ne pouvant pas être chauffé au-dessus de la chaleur rouge, on ne peut faire dans les tubes que des expériences qui n'exigent qu'une température peu élevée. On peut opérer dans ces tubes des dissolutions, des évaporations, des distillations, des sublimations, des gazéifications, des calcinations, des grillages et des fusions.

Dissolutions. — Les dissolutions ordinaires se font dans des tubes droits bouchés par un bout (Fig. 13, Pl. XI).
Sous pression. Lorsque le liquide dissolvant est très volatil, et qu'on veut le tenir pendant un certain temps à une température supérieure à son degré d'ébullition, en contact avec la substance à dissoudre, il suffit de tenir le tube bouché avec l'index : on juge jusqu'à un certain point, par la pression que l'on éprouve, de la force élastique de la vapeur, et par suite, de la température. Si celle-ci est élevée, on évite le contact immédiat des vapeurs, pour ne pas se brûler, en laissant un peu d'air dans le tube, et en le fermant aussitôt que l'ébullition commence.

Dissolution lente. Lorsque la dissolution ne peut se faire qu'à l'aide d'un long temps, on se sert avec avantage d'un tube

doublement recourbé *abc* (Fig. 14). En élevant l'extrémité ouverte du tube, le dissolvant qui s'est vaporisé et condensé dans la partie *b* est aisément reporté en *a* sur la substance à dissoudre. Il est aisé de refroidir la partie *b* pour que toutes les vapeurs s'y condensent, soit en l'entourant de papier mouillé, soit en la plongeant dans l'eau.

Évaporation. — Pour évaporer dans des tubes, il faut ordinairement un très long temps, surtout si l'on doit modérer la température, parce qu'il n'y a aucun mouvement d'air à la surface du liquide. On accélère l'opération en introduisant dans le tube un autre tube plus petit, recourbé et ouvert par les deux bouts : il s'établit à la faveur de ce tube un courant d'air qui entraîne les vapeurs à mesure qu'elles se forment (Fig. 15). L'évaporation va encore plus vite dans un tube posé horizontalement, et dont les deux extrémités sont un peu recourbées et ouvertes (Fig. 16), en ayant soin de ne pas remplir en totalité la branche horizontale, afin que l'air puisse y circuler, et entraîner les vapeurs.

Moyen d'accélération.

Distillation. — L'appareil distillatoire le plus simple se compose d'un tube bouché à l'une de ses extrémités, et recourbé, qui sert de cornue, et d'un tube droit bouché par un bout et un peu plus large que le premier, qui fait l'office de récipient (Fig. 17). Quelquefois on effile le *tube cornu* à son extrémité, en tube capillaire, après qu'on y a introduit les matières à distiller, afin de pouvoir le faire entrer dans des vases à orifice très étroit, ou pour accélérer la condensation (Fig. 18) des vapeurs, ou encore lorsque le tube cornu est d'un gros diamètre. On peut alors prendre pour récipient soit des flacons à col très étroit, soit un tube dont le col a été rétréci à la lampe. D'autres fois on prend pour récipiens des tubes ouverts par les deux bouts et courbés (Fig. 19.). Si l'on rétrécit beaucoup l'extrémité de ces tubes (Fig. 20), on peut en extraire avec une grande facilité des quantités aussi petites que l'on veut du liquide qui s'y condense.

Appareil.

Récipiens.

Une excellente méthode d'opérer les distillations lentes consiste à faire passer l'extrémité du tube cornu à travers un bouchon que l'on adapte sur l'ouverture d'une cloche à gaz. Cette cloche étant mise sur trois ou quatre petits supports, on place dessous une lampe à alcool, et l'on entretient ainsi dans l'intérieur de la cloche une atmosphère d'air chaud qui entoure le tube et l'échauffe plus ou moins, selon qu'on le rapproche plus ou moins de la lampe.

Rectification. — On peut rectifier des liquides dans des tubes, c'est-à-dire les distiller plusieurs fois de suite de diverses manières.

Tubes courbés. 1°. Au moyen de deux tubes courbés, disposés comme le représente la figure 21. Quand la distillation dans le premier tube est opérée, on le retire, et à l'aide du chalumeau on bouche le récipient au point *a*. La rectification se fait ensuite soit en appliquant la chaleur en *b* et en plaçant un autre récipient en *c*, soit en retournant le tube de manière à faire passer le liquide en *a*, et chauffant cette partie : dans ce dernier cas le liquide distillé se rassemble en *d*.

Tube à plusieurs courbures. 2°. On exécute facilement plusieurs rectifications successives au moyen d'un simple tube courbé en plusieurs sens dans le même plan (Fig. 22). On introduit le liquide par l'extrémité ouverte *a*, de manière à ce qu'il reste en *b*; puis on ferme au chalumeau cette extrémité, l'autre extrémité *f* restant ouverte, et l'on chauffe en *b* : la partie la plus volatile du liquide se condense en *c*; puis, chauffant à la fois en *b* et en *c*, il passe en *d* une autre partie plus volatile encore, s'il en existe, etc. En élevant l'extrémité *f*, tous les produits retournent en *b*, quand les courbures sont telles que le représente la figure; mais si l'on voulait que le produit condensé en *e* n'y retournât pas, il faudrait qu'en ce point les deux branches du coude fussent toutes les deux inclinées de gauche à droite par rapport à la verticale, parce qu'alors l'axe du tube étant mis dans une position perpendiculaire à l'horizon, la branche *eg* conserverait une certaine inclinaison

de droite à gauche, et que par conséquent le liquide ne pourrait pas s'en écouler.

3°. Si l'on plie en deux parties qui se trouvent dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre, un tube semblable au précédent, on aura un appareil de rectification au moyen duquel on pourra faire revenir séparément le liquide contenu à l'angle des plans, à une extrémité, et le liquide contenu à l'autre extrémité, vers l'angle des plans. Tube à double courbure.

Sublimation. — On effectue facilement la sublimation dans des tubes droits fermés par une extrémité (Fig. 13). Si la matière est facilement condensable, on peut chauffer le tube en le tenant verticalement; mais dans le cas contraire, on le tient obliquement, ou même presque horizontalement, surtout lorsque pour condenser la substance volatile il est nécessaire que la partie antérieure du tube soit tout-à-fait froide. Tubes droits.

On peut souvent avoir le poids exact de la matière sublimée, en coupant la partie du tube dans laquelle elle s'est condensée, et pesant cette partie, la nettoyant, et la pesant de nouveau ; ou encore en pesant la partie inférieure, la nettoyant, et la pesant de nouveau; ce qui donne le poids du résidu, et permet de calculer le poids de la matière sublimée par différence. Pesée.

Pour accélérer la condensation de la matière sublimée et empêcher qu'il n'en sorte du tube à l'état de vapeur, on peut introduire dans celui-ci soit une baguette de verre pleine, soit un tube d'un petit diamètre, dans lequel on met de l'eau ou du mercure. Condensation.

Au lieu de condenser les matières sublimées dans le tube cornu, il est facile de les faire passer dans un autre tube un peu plus large qui sert de récipient : il suffit pour cela de chauffer le tube cornu dans toute sa longueur. La Figure 23 donne l'idée d'une disposition qui est très commode : le tube recourbé ne doit avoir que le diamètre strictement nécessaire pour envelopper le tube sublimatoire. La condensation a lieu principalement dans la partie supérieure du milieu du tube, et il est très

aisé de refroidir celui-ci au moyen d'un papier mouillé, ou en tenant le coude inférieur plongé dans l'eau.

Cloche droite. *Gazéification.* — La cloche à gaz la plus simple est un tube droit bouché par un bout, que l'on place obliquement dans une capsule pleine d'eau ou de mercure, et au-dessous duquel on introduit l'extrémité effilée d'un tube qui apporte le gaz (Fig. 24).

Cloches de M. Cooper. M. Cooper se sert de tubes de 15 à 20 millimètres de diamètre et de 1 à 3 décimètres de longueur, recourbés et ouverts à leur extrémité inférieure, mais fermés par le haut (Fig. 25). Quand on veut recueillir un gaz dans un de ces tubes, on le remplit de mercure en le tenant dans une position inclinée; puis on le suspend ou on le soutient d'une manière quelconque, verticalement au-dessus d'une capsule; on introduit dans l'ouverture l'extrémité effilée du tube qui apporte le gaz, de manière à ce que les bulles gazeuses restent dans la grande branche; à mesure que le gaz arrive, le mercure s'écoule et tombe dans la capsule : quand le tube est presque plein, on arrête l'opération et l'on examine les propriétés du gaz. A cet effet on applique le doigt sur l'ouverture du tube, on incline celui-ci avec précaution, et l'on fait passer une petite quantité de gaz entre le doigt et le mercure; puis on redresse le tube, et l'on soumet à une épreuve quelconque la bulle qui a été ainsi séparée de la masse du gaz.

Cloche de M. Kerr. Pour recueillir un gaz dans le tube même où il se produit, on se sert avec avantage du tube courbe de M. Kerr (Fig. 26). La forme de ce tube doit être telle que, quand il est en place, le sommet des deux courbes ne soit pas sur la même ligne verticale, mais que celui de la courbe inférieure *d* se trouve rapproché de l'extrémité fermée *a* du tube. On remplit du liquide réactif la branche *ab*; on introduit par l'ouverture *c* la substance solide sur laquelle le liquide doit agir, et on la fait descendre jusqu'en *d* : il est évident qu'alors le gaz qui se dégage doit se rassembler dans la branche *ab*, sans qu'il s'en perde la moindre bulle, tandis

que le liquide passe dans la branche *bc*. Si, quand l'opération est finie, on veut remplacer ce liquide par de l'eau pure, il suffit de plonger le tube dans un vase qui en soit rempli, et d'élever l'extrémité *a*. Si l'on veut remplacer le liquide réactif par du mercure, on y parvient en introduisant celui-ci peu à peu par la branche ouverte *cb*.

Autre cloche.

M. Kerr donne encore au tube précédent la forme représentée par la figure 27. Ce tube est ouvert en *a*, mais on peut le fermer à l'aide d'un bouchon de verre usé à l'émeri, ou d'un bouchon de liége enduit de cire. Cette disposition donne la facilité de pouvoir extraire du tube une portion du gaz qu'il contient, que l'on veut faire passer dans un autre tube. Pour cela on plonge le tube dans l'eau ou dans le mercure, on met le tube-récipient, rempli de l'un ou l'autre de ces liquides, au-dessus de l'orifice *a*, et l'on débouche cet orifice, que l'on referme aussitôt que l'on a fait écouler le volume de gaz désiré. On peut, selon qu'on le juge convenable, tenir la partie ouverte *b* du tube au-dessus de l'eau ou du mercure, ou la plonger dans la cuve : quand on la tient en dehors, on peut, en relevant plus ou moins verticalement la branche *bc*, faire sortir le gaz avec plus ou moins de vitesse.

Tubes pliés sur un prisme.

On fait des tubes à gaz d'une forme très avantageuse en pliant un tube droit cylindrique, en spirale autour d'un prisme triangulaire de 3 centimètres environ de côté, de manière que chaque branche du tube ait 5 à 6 centimètres de longueur. Quand le tube est froid, on enlève le prisme qui sert de moule. Après avoir versé dans un tube de cette forme une quantité d'acide suffisante pour remplir une des branches droites, plus la moitié d'une autre branche, on y introduit la substance sur laquelle l'acide doit agir, et l'on chauffe : il suffit alors d'incliner le tube dans différentes directions, sur son axe horizontal, pour qu'il se remplisse en entier de gaz, à l'exception des dernières divisions qui approchent de l'extrémité ouverte. Le gaz ne peut s'échapper pendant la révolution du tube, à cause de la présence de l'acide,

qui, à mesure que le volume du gaz augmente, le devance toujours, depuis une extrémité jusqu'à l'autre. On peut, à volonté, substituer de l'eau à l'acide, extraire une petite portion de gaz pour l'examiner, etc.

Tube droit. Quand la présence du mercure ne peut pas nuire à l'opération, on se sert, pour recueillir un gaz dans le tube même où il se produit, d'un tube droit que l'on remplit de mercure et que l'on place sur une cuve pneumatique. Ce tube fait ainsi fonction de cloche étroite et allongée; on y introduit la substance que l'on veut traiter, et l'acide, etc., qui doit agir sur elle, et on la chauffe doucement en en approchant un charbon ou un corps chaud, ou même en dirigeant dessus la flamme d'un chalumeau.

Lorsque la substance doit être chauffée long-temps et fortement, et sans qu'elle soit en contact avec le Cloches courbes. mercure, on emploie les cloches courbes. Les cloches courbes (Fig. 28) ne sont autre chose que des tubes fermés par un bout et courbés en forme de cornues, dont on se sert pour recueillir les gaz qui se produisent dans leur intérieur, principalement quand il n'est besoin pour les produire, que de la chaleur seule. On place le tube, presque plein de liquide, dans une position verticale, sur une cuve à eau ou à mercure; on y introduit la substance, que l'on fait passer dans la *panse*, et l'on chauffe celle-ci graduellement avec une lampe; le gaz qui se dégage remplit le tube en en faisant sortir l'eau ou l'appareil de mercure.

Appareil de Woulf. On se procure un petit appareil de Woulf en pliant un tube de 10 à 16 millimètres de diamètre, et ouvert à ses deux bouts, comme on le voit dans la figure 29. On fait passer le gaz, qui arrive en *a*, bulle à bulle, à travers le liquide *c*, puis à travers le liquide *d*, etc. Si ce gaz est peu soluble, on aplatit la courbure *d*, afin qu'il reste long-temps en contact avec le liquide. Si le tube est courbé, comme dans la figure 30, on peut en enlever successivement les portions de liquide contenues dans les quatre angles inférieurs, en commençant par

la dissolution la plus concentrée ou la plus faible ; on peut encore comparer ces dissolutions entre elles, en versant alternativement par l'un et l'autre bout du tube : la seule précaution à prendre est d'élever convenablement chacun de ces bouts.

Liquéfaction du gaz. — C'est dans des tubes de verre d'un petit diamètre, d'une épaisseur convenable, et disposés de manières diverses, que l'on parvient à liquéfier les gaz à la faveur d'un grand abaissement de température et de la forte pression qu'ils exercent sur eux-mêmes.

Grillage. — On a vu, à l'article des essais au chalumeau, comment on opère les grillages dans des tubes ouverts.

Calcination, fusion. — On ne peut calciner et fondre dans des tubes de verre que des substances qui se décomposent et se liquéfient à une température peu élevée. On se sert pour cela de tubes droits bouchés par un bout : quand les tubes sont suffisamment longs et étroits, l'opération peut être considérée comme ayant lieu sans le contact de l'air, parce qu'il ne peut pas s'établir de circulation gazeuse dans le tube.

Exemples.

On peut, par calcination dans du verre, séparer l'eau et les bitumes de la plupart des substances qui en contiennent. On y fait fondre avec avantage un grand nombre de substances très oxidables et d'autres très volatiles : pour ces dernières on prend des tubes un peu épais, que l'on bouche avec le doigt pendant qu'on les chauffe, et jusqu'au moment où la fusion a lieu.

CHAPITRE IV.

DES COMBUSTIBLES.

Les matières que l'on emploie comme combustibles sont : le bois, le charbon de bois, la tourbe, le charbon de tourbe, la houille, et la houille carbonisée ou coke, en comprenant sous le nom de *houille* tous les combustibles minéraux solides. Avant de nous occuper de chacune de ces matières en particulier, nous nous arrêterons sur leurs caractères généraux, et nous ferons connaître les procédés que l'on peut suivre pour en faire ce que l'on appelle l'analyse immédiate.

SECTION PREMIÈRE.

Des combustibles considérés en général.

ARTICLE PREMIER. — *Notions fondamentales.*

Nature des combustibles. — Les combustibles sont essentiellement composés de carbone, d'hydrogène et d'oxigène, et souvent ils contiennent en outre de l'azote comme principe essentiel. Ces quatre élémens s'y trouvent en proportions variables à l'infini, mais toujours telles, que le carbone et l'hydrogène sont en quantité beaucoup plus que suffisante pour former de l'acide carbonique et de l'eau avec l'oxigène. Indépendamment des principes essentiels, les combustibles renferment presque toujours un certain nombre de substances accidentelles qui s'y trouvent le plus souvent mélangées d'une manière invisible ; ces substances forment après la combustion un résidu auquel on donne le nom de *cendres*, *crasses* ou *scories*. La nature des cendres est très diverse, mais en général le carbonate de chaux domine dans celles qui proviennent des combustibles végétaux, et l'argile dans celles qui proviennent de combustibles minéraux.

Les combustibles diffèrent totalement les uns des autres par l'aspect et les caractères physiques. Leur densité est en général un peu plus forte ou un peu moindre que celle de l'eau.

Combustion. — Tout le monde sait que lorsqu'on chauffe un combustible au contact de l'air, il devient incandescent, absorbe l'oxigène, se résout en gaz, et disparaît peu à peu. Pendant l'acte de cette combinaison, que l'on nomme *combustion*, il se développe une chaleur plus ou moins forte dont on tire parti. Chaque combustible commence à s'embraser à un degré de température particulier. La combustion a lieu tantôt sans flamme, tantôt avec flamme. Il n'y a point de flamme quand le combustible ne contient pas d'hydrogène, ou quand la combustion est tellement complète qu'il ne se dégage que de l'acide carbonique et de l'eau. Il y a flamme lorsque le combustible est susceptible de donner à la distillation des gaz ou des vapeurs qui peuvent brûler, et la flamme est plus ou moins lumineuse, selon que ces gaz ou vapeurs sont plus ou moins carbonés. Les flammes doivent être considérées comme des mélanges explosifs tenant en suspension des particules de carbone échauffées au plus haut degré d'incandescence.

Carbonisation et distillation. — Quand on chauffe un combustible en vase clos, c'est-à-dire quand on le soumet à la distillation sèche, on en opère ce qu'on appelle la *carbonisation*. Il s'en dégage des substances gazeuses et liquides, et quand l'opération a été continuée pendant un temps suffisant, et que la chaleur a été portée jusqu'au rouge blanc, il reste une matière solide, noire, qui est le *charbon*. Les substances gazeuses qui sont le produit de la distillation, sont : l'acide carbonique, l'oxide de carbone, l'hydrogène pur, l'hydrogène proto-carboné et deuto-carboné, l'azote, l'ammoniaque, et l'hydrogène sulfuré. Ces substances sont mêlées ensemble dans des proportions qui diffèrent extrêmement, selon la nature des combustibles, et qui va-

Charbon.

Gaz.

rient aussi continuellement dans le cours de la distillation. Les gaz sont presque toujours mêlés aussi d'une certaine quantité de vapeurs huileuses qui ne se condensent pas sous la pression atmosphérique. Les produits liquides de la distillation sont l'eau, tantôt ammoniacale, tantôt acidulée par l'acide acétique, quelquefois de l'esprit pyroligneux; des huiles empyreumatiques pyrogénées bien liquides et d'un jaune pâle, et enfin des huiles épaisses et d'un jaune brun, que l'on nomme *goudron*. L'eau paraît toujours au commencement de la distillation; les huiles paraissent ensuite, et deviennent de plus en plus visqueuses et colorées. Les huiles et le goudron sont des combinaisons et des mélanges de différentes huiles volatiles que l'on nomme *pyrélaïdes*, et de différentes résines que l'on nomme *pyrétines*. Ces substances sont en outre presque toujours combinées avec de l'acide acétique et mélangées de *naphtaline*. En général les produits volatils de la distillation sont d'autant plus riches en carbone, que l'opération se fait à une température moins élevée; en sorte que l'on obtient un résidu de charbon moindre quand on chauffe brusquement et fortement, que quand on chauffe graduellement et modérément. Pour que les gaz soient le plus chargés possible de carbone, et par là jouissent au *maximum* de la faculté éclairante, il faut que la distillation soit opérée à une certaine température moyenne.

Liquides.

Moyens d'analyse. — Il y a deux manières de faire l'analyse des combustibles : l'une, *médiate*, consiste à déterminer la proportion de leurs principes élémentaires; l'autre, *immédiate*, se réduit à la recherche des produits que ces matières donnent lorsqu'on les soumet à la distillation ou lorsqu'on les brûle. L'analyse médiate est une opération minutieuse et difficile qui ne peut être exécutée avec succès que par des personnes très habituées aux manipulations chimiques; heureusement elle n'est pas la plus importante, parce qu'elle n'est pas propre à faire connaître avec certitude les propriétés du combustible, l'observation ayant appris qu'une très petite différence de composition

Analyse médiate.

en amène souvent une très grande dans les propriétés, et que d'ailleurs celles-ci dépendent non-seulement de la proportion des principes constituans, mais encore du mode de combinaison dans lequel ces principes sont unis entre eux. Nous pensons, en conséquence, ne devoir nous occuper ici que de l'analyse immédiate.

Analyse immédiate.

On recherche, dans l'analyse immédiate, la nature et la proportion des gaz, des liquides et du charbon qu'un combustible produit lorsqu'on le chauffe fortement sans le contact de l'air, et la nature ainsi que la proportion des cendres qu'il laisse lorsqu'on le brûle. On s'applique en même temps à constater toutes ses propriétés, savoir, s'il ne change pas de forme au feu, s'il reste intact ou s'il se fendille, s'il se contracte ou non, s'il se ramollit, s'il se fond, s'il se boursoufle; comment il brûle, en s'agglomérant ou non, avec flamme ou sans flamme, avec fumée ou sans fumée; quelle odeur il répand, quel aspect ont les cendres qu'il laisse après la combustion, etc.

Pouvoir calorifique. — Enfin pour acquérir une connaissance complète des qualités d'un combustible, il faut déterminer son pouvoir calorifique, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'il dégage en brûlant, ou l'effet calorifique qu'il est capable de produire dans telle ou telle circonstance. Nous allons faire connaître les moyens de procéder à toutes ces recherches.

Essais préliminaires. — La plupart des combustibles ayant la facilité d'absorber de l'eau hygrométrique, souvent en très grande proportion, il faut toujours commencer par les dessécher dans une étuve, à une température voisine du point d'ébullition de l'eau, pour savoir la perte de poids qu'ils éprouvent. D'une autre part, on les soumet à quelques essais préliminaires pour constater quelques-unes de leurs propriétés. 1°. On en met un petit morceau, d'environ la grosseur d'un pois, dans un matras de verre pareil à ceux qui servent pour les essais au chalumeau; on incline ce matras presque horizontalement, et on chauffe la panse lentement et gra-

Distillation.

duellement, jusqu'à ramollissement du verre, soit à la lampe, soit sur un feu de charbon. On examine les changemens qu'éprouve le morceau de combustible, et surtout les liquides qui s'en dégagent successivement. L'eau apparaît toujours la première, et distille d'abord sans mélange d'huile; on doit, à ce moment, examiner si elle est acide ou alcaline, en introduisant dans le tube l'extrémité d'une petite bande de papier bleu et de papier jaune; ensuite viennent les huiles et les bitumes. Après avoir chauffé jusqu'au rouge, on casse le matras pour en extraire le charbon et voir quel est son aspect. 2°. On chauffe un morceau du combustible en plein air, dans un têt ou dans une petite capsule de platine, et l'on observe les phénomènes qu'il présente en brûlant. 3°. On en réduit une petite portion en poudre impalpable, que l'on fait bouillir avec une dissolution étendue de potasse caustique, pour voir s'il se dissout quelque chose : dans ce cas, la liqueur acquiert une couleur brune plus ou moins intense.

Combustion.

Distillation.

ARTICLE II. — *Analyse immédiate.*

Appareil. — Pour faire l'analyse immédiate, il faut recueillir et doser tous les produits de la distillation. L'appareil le plus simple dont on puisse se servir consiste en une petite cornue ou en un tube de verre d'environ 1 centimètre de diamètre, bouché par un bout et courbé en forme de cornue, et légèrement déprimé vers l'extrémité ouverte (Pl. XII, Fig. 1 et 2). On adapte à cette extrémité, au moyen d'un bouchon de liége ou d'un tuyau de caoutchou conique, un tube de verre d'un petit diamètre et convenablement recourbé, qui conduit les gaz dans une cloche placée sur le mercure. On introduit au fond du grand tube quelques grammes de combustible concassé ou coupé en petits morceaux, ou même réduit en poussière grossière; mais on a soin de ne pas l'employer en poussière fine, parce qu'une partie de cette poussière pourrait rester adhérente aux parois du tube sur toute sa longueur, et ne pas tomber au fond. On réunit ce

tube à celui qui conduit les gaz dans l'appareil pneumatique, et on le dispose sur un feu de charbon ou sur une forte lampe, de telle sorte que la panse seule reçoive l'impression de la chaleur, et que le col soit notablement incliné vers l'ouverture, afin que les liquides distillés puissent glisser vers cette partie et ne retombent pas dans la panse.

Opération. On chauffe graduellememt et lentement, pour que la chaleur ait le temps de pénétrer jusqu'au centre de la masse, et l'on finit cependant par pousser la chaleur jusqu'au point de ramollir le verre. Alors on laisse refroidir complètement l'appareil, et quand il est revenu à la température atmosphérique, on nivelle le mercure dans la cloche, et l'on mesure le volume des gaz. On coupe avec une lime la partie de la panse qui renferme le charbon, et l'on en détache celui-ci, dont on prend le poids immédiatement. Quant aux liquides, on peut en recueillir une partie qui se rassemble dans la dépression du tube; mais une autre partie, et principalement les huiles épaisses dont le dégagement a lieu à la fin de l'opération, adhèrent tout le long des parois. Pour les doser, il faut peser le tube, puis le concasser grossièrement, le chauffer au rouge, jusqu'à ce qu'il soit devenu très net, et le peser de nouveau. La perte de poids donne la proportion exacte du liquide adhérent.

Produits gazeux. — Si l'on voulait analyser les gaz, il faudrait avoir égard à l'air contenu dans l'appareil, et dont ils se trouvent mélangés. Comme ces gaz varient pendant tout le temps de l'opération, il peut être utile de les fractionner, pour examiner séparément ceux qui se produisent aux différentes époques de la distillation. On y parvient aisément, soit en changeant les cloches, si l'on se sert de l'appareil pneumatique ordinaire, soit quand on emploie l'appareil de M. Gay-Lussac, qui est beaucoup plus commode, en faisant usage d'une cloche à robinet (Fig. 2), à laquelle on adapte un tube : le robinet étant ouvert, si l'on enfonce la cloche dans le mercure, le gaz en sort, et l'on peut le

Cloche à robinet.

recevoir soit dans une vessie, soit dans un vase quelconque; en fermant le robinet, le reste du gaz peut être conservé dans la cloche. Les premières portions qui passent doivent toujours être rejetées, parce qu'elles contiennent tout l'air de l'appareil. Lorsqu'on a pesé le charbon et les liquides, on a d'ailleurs le poids total des gaz par différence.

Produits liquides. — Quand on veut examiner les divers liquides qui résultent de la distillation d'un combustible, on opère sur 5 à 10 grammes, et l'on fait
Appareil. l'opération dans une petite cornue dont on introduit le col dans de petits ballons ou des fioles à médecine légères, et que l'on pèse avec soin : en changeant ces ballons ou ces fioles de temps à autre, et les pesant de nouveau, on recueille séparément des fractions diverses, et en quantité connue, de la matière liquide. Pour en avoir la proportion totale, il faut déterminer, comme nous l'avons dit, le poids de la portion qui adhère aux
Remarque. parois du col de la cornue. Il est à remarquer que plusieurs combustibles, par exemple la plupart des houilles, se gonflent considérablement en se décomposant par la chaleur : il est très essentiel d'avoir égard à cette circonstance, et de n'employer qu'un volume de matière, tel qu'après la distillation la panse du tube distillatoire ou de la cornue ne soit pas tout-à-fait remplie.

Charbon. — La distillation dans des appareils de verre donne toujours une proportion un peu trop forte de charbon, parce que celui-ci ne peut pas être assez fortement chauffé pour être entièrement privé de toute matière volatile. Pour en avoir la proportion exacte, il faut le calciner
Appareil. dans un creuset, ou mieux encore, calciner immédiatement 5 à 10 grammes du combustible lui-même, à l'effet de déterminer la proportion du charbon qu'il est susceptible de produire. On peut faire cette calcination dans un creuset de terre; mais il est préférable de se servir d'un creuset de platine. Pour éviter la destruction d'une partie du combustible par le contact de l'air, on place le

creuset, muni de son couvercle, dans un autre creuset très peu plus grand et également bouché, et, pour plus de précautions encore, on met quelques morceaux de charbon autour du creuset intérieur, par-dessus son couvercle. De cette manière, l'air extérieur qui parvient à s'introduire dans le grand creuset se convertit en acide carbonique et ne peut, par conséquent, exercer aucune action sur le combustible soumis à la distillation. Quelques personnes prescrivent de remplir entièrement de sable ou de poussier de charbon le creuset dans lequel on fait la calcination; mais ce moyen, outre qu'il ne peut être employé que pour les combustibles en morceaux compactes et non ramollissables, est moins commode et ne donne pas de résultats plus exacts que celui que nous venons d'indiquer.

Mélange de poussier.

Essai par le nitre. — Kirwan ayant observé que les huiles et les bitumes ne détonent pas avec le nitre, mais viennent brûler à sa surface, et supposant que tous les combustibles sont des mélanges de ces sortes de substances et de charbon, en a déduit un moyen de déterminer la proportion de celui-ci. Pour cela il faisait fondre 30 grammes de nitre dans un creuset, et il y projetait le combustible à essayer, par petites portions successives du poids de 1 décigramme environ, jusqu'à ce qu'il ne s'y produisît plus de déflagration; il jugeait qu'alors tout le nitre était consommé, et sachant, par expérience, que le charbon de bois décompose dix fois son poids de nitre, il en concluait que la quantité de combustible consumée contenait 3 grammes de charbon, ce qui lui donnait la proportion de ce dernier. Le procédé de Kirwan est fondé sur une supposition qui n'est pas exacte; mais il donne des résultats assez approximatifs, parce qu'il paraît que le plus souvent le nitre ne commence à agir sur les combustibles qu'à une température supérieure à celle qui est nécessaire pour en opérer la carbonisation.

Cendres. — Reste enfin à déterminer la proportion des cendres. Pour cela on prend 10 grammes de ma-

Incinération.

tière réduite en copeaux, en petits morceaux, ou même en poudre fine si elle est d'une difficile combustion, et on la brûle dans un têt de porcelaine vernissée, ou dans une petite capsule de platine, en l'agitant de temps en temps avec une spatule, pour renouveler les surfaces, mais en ayant grande attention d'éviter les mouvemens brusques, parce qu'en général les cendres sont si légères, qu'elles se répandent en poussière fine dans l'air avec la plus grande facilité. Il est essentiel aussi, pour le même motif, de n'exposer le combustible qu'à un courant d'air modéré et bien régulier. Ces expériences se font commodément sous la moufle d'un fourneau de coupelle; mais en prenant quelque soin, on peut les exécuter aussi dans un foyer de calcination ordinaire. Si l'on voulait se procurer une quantité de cendres un peu considérable, afin de pouvoir en faire une analyse complète, il faudrait brûler un grand volume de combustible dans une bassine ou dans une poêle de tôle; et comme les dernières portions seraient difficiles à incinérer, on acheverait la combustion dans une capsule de platine que l'on chaufferait au rouge. Les cendres renfermant souvent beaucoup de carbonate de chaux; pour les doser avec exactitude il faut faire en sorte que la chaux y soit à l'état caustique, ou au contraire entièrement saturée d'acide carbonique. On amène la chaux à l'état caustique par une forte calcination dans un creuset de platine; on lui rend au contraire l'acide carbonique qu'elle a en partie perdu par la chaleur de la combustion, en chauffant la cendre au rouge, après l'avoir mélangée avec une certaine quantité de carbonate d'ammoniaque en poudre.

ARTICLE III. — *Pouvoir calorifique.*

Termes de comparaison.

A poids égaux les différens combustibles dégagent des quantités de chaleur très inégales. Leur pouvoir calorifique est proportionnel à ces quantités : on ne peut pas avoir une mesure absolue de celles-ci, mais on détermine leurs rapports numériques en comparant entre eux les effets qu'elles produisent. On recherche tantôt les quan-

tités d'eau qu'elles sont capables de vaporiser, tantôt les quantités de glace qu'elles peuvent fondre, et tantôt les poids d'eau qu'elles peuvent échauffer de 1° thermométrique. Ce dernier terme de comparaison est celui qui est le plus usité actuellement, et l'on prend presque toujours pour unité calorifique un poids d'eau égal au poids du combustible brûlé, échauffé de 1°; c'est ce que quelques personnes appellent *calorie*.

Eau vaporisée. — Quand on veut comparer les pouvoirs calorifiques par les quantités d'eau vaporisées, on se sert d'un alambic, et l'on détermine le poids des vapeurs d'eau condensées; mais ce moyen est tellement imparfait, qu'il doit être généralement proscrit. En effet, on sait que les combustibles qui brûlent avec flamme sont plus propres à opérer des distillations, que les combustibles qui brûlent sans flamme et qui sont cependant capables de produire beaucoup de chaleur. Pour que les uns et les autres donnent leur *maximum* d'effet, il faudrait les brûler chacun d'une manière particulière; et alors les circonstances étant différentes, les effets ne seraient plus comparables : les houilles doivent être placées sur une grille; le bois peut être brûlé sans grille; les combustibles à flamme doivent être plus éloignés du fond de la chaudière que ceux qui brûlent presque sans flamme, etc. Alambic.

Glace fondue. — Quand on évalue la quantité de chaleur développée par la combustion, d'après le poids de la glace fondue, on se sert du calorimètre de Laplace et Lavoisier, en brûlant une quantité déterminée du combustible, soit au centre de la chambre intérieure dans laquelle on fait passer un courant d'air, soit au-dessous du calorimètre, sous un entonnoir renversé adapté à un serpentin qui est entouré de glace de toutes parts. Comme on sait que pour passer de l'état solide à l'état liquide sans changer de température, la glace à zéro absorbe autant de calorique qu'il en faudrait pour échauffer de 75° un poids d'eau liquide égal au sien, ou pour en échauffer soixante-quinze fois son poids de 1°, il est Calorimètre de Laplace.

facile de transformer en *calories* les évaluations faites en quantités de glace fondue.

Échauffant de l'eau. — La détermination de la capacité calorifique en *calories* s'obtient directement au moyen du calorimètre à eau qui a été imaginé par Rumfort (Pl. XII, Fig. 32). C'est une caisse rectangulaire en cuivre mince, portée sur quatre pieds pointus, et traversée dans toute son étendue par un serpentin horizontal dont les coudes sont très multipliés. Ce serpentin s'ouvre d'un côté à la partie inférieure de la caisse, et du côté opposé, à la partie supérieure. Enfin, sur la même face de la caisse se trouve une ouverture par laquelle on peut y introduire de l'eau, et que l'on ferme avec un bouchon de liége à travers lequel passe la tige d'un thermomètre à réservoir cylindrique. Quand on veut se servir de cet instrument, on le remplit d'eau dont on note la température : on brûle sur une petite grille un poids bien déterminé du combustible que l'on veut examiner, et aussitôt que la combustion est achevée, on observe le degré auquel le thermomètre s'est élevé. On connaît donc l'échauffement qu'a éprouvé un poids déterminé d'eau, et par suite le poids de ce liquide qui n'aurait été échauffé que de 1°.

Calorimètre de Rumfort.

Mais pour que le résultat soit exact, il faut, 1°. faire en sorte que l'eau soit dans toute sa masse à la même température : pour cela on agite la caisse avant de noter le degré du thermomètre ; 2°. brûler une quantité de combustible assez petite pour que les gaz aient à peu près perdu toute leur chaleur à leur sortie du serpentin, sans quoi on aurait à faire une correction qui présenterait les plus grandes difficultés ; 3°. obvier aux pertes de chaleur qui ont lieu par le rayonnement de l'instrument : M. de Rumfort y est parvenu d'une manière satisfaisante, en prescrivant de mettre dans la caisse de l'eau dont la température soit abaissée autant au-dessous de celle de l'air, qu'elle sera élevée au-dessus à la fin de l'opération : alors pendant la première moitié de l'expérience l'air réchauffe la caisse, tandis qu'il la refroidit pendant la se-

Précautions.

conde moitié : on parvient à ce résultat par tâtonnement; ou si le combustible n'éprouve pas d'altération dans sa nature en se brûlant en partie, il suffit d'arrêter l'expérience au moment où l'eau se trouve autant échauffée par rapport à l'air, que l'air était échauffé par rapport à elle avant l'opération; 4°. tenir compte de la caloricité de la caisse : cette caloricité doit avoir été déterminée par une expérience préliminaire; d'ailleurs, comme la capacité des métaux pour le calorique est bien connue comparativement à celle de l'eau, il suffit de prendre le poids exact de la caisse pour calculer la quantité d'eau à laquelle elle équivaut; 5°. enfin, il faudrait encore avoir égard à la quantité de chaleur qui se perd par rayonnement au-dessous de l'entonnoir. D'après M. Péclet, cette quantité est assez considérable, mais il serait difficile de l'évaluer. Toutes ces observations font voir que le calorimètre de Rumfort donne des résultats trop faibles, et qui doivent l'être plus encore que ceux que l'on obtient avec le calorimètre de Laplace et de Lavoisier.

Méthode de Marcus Bull. — Les expériences faites sur la combustion par les chimistes les plus distingués s'accordant peu entre elles, M. Marcus Bull entreprit aux États-Unis de nouvelles recherches sur ce sujet en 1826. Après plusieurs tâtonnemens, il se décida à déterminer la chaleur dégagée par la combustion, d'après les temps pendant lesquels un même poids de chaque combustible peut maintenir l'air d'une chambre à une température constante. Pour cela, il a fait usage d'un appareil qui se compose essentiellement d'un poêle muni de tuyaux, dans lequel s'opère la combustion; d'une chambre en bois de 500 pieds cubes, vers un angle de laquelle on place ce poêle, et que traverse un courant d'air dont on peut régler la vitesse à volonté; enfin d'une seconde chambre aussi en bois, qui enveloppe la première. Nous ne pouvons donner ici les détails de cet appareil; on en trouvera une description complète dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* (mars 1827). Appareil.

Pour procéder aux expériences, M. Marcus Bull brûle Opération.

d'abord du charbon dans le poêle, en réglant le tirage de telle manière, que la différence de température entre les deux chambres soit de 10°; puis il substitue au charbon successivement des poids déterminés de différens combustibles qu'il fait brûler en réglant le tirage pour chacun d'eux, de telle sorte que la différence de température entre les deux chambres reste toujours de 10°. Dès lors la quantité de chaleur émise à chaque instant compensant exactement la perte de chaleur de l'air de la chambre extérieure par les murs, ou celle de la chambre intérieure par les parois, la quantité totale de chaleur développée par chaque combustible se trouve proportionnelle à son poids et au temps qu'il met à brûler.

Essai par la litharge. — Il est à peu près démontré par les expériences de plusieurs savans, que les quantités de chaleur émises par les différens combustibles sont exactement entre elles dans le rapport des quantités d'oxigène que ces combustibles absorbent en brûlant. D'après cela, lorsque la composition élémentaire d'un combustible est connue, il est facile de déterminer par calcul quel est son pouvoir calorifique. En effet, il suffit pour cela de chercher quelle quantité d'oxigène il absorberait pour que, en ayant égard à celui qu'il contient, tout son carbone puisse se transformer en acide carbonique, et son hydrogène en eau, et de comparer cette quantité à celle que prend en brûlant un combustible dont la puissance calorifique a été déterminée par expérience, par exemple le charbon pur.

Conséquence. En adoptant le principe que nous venons d'énoncer, on conçoit que sans connaître la composition d'un combustible, on pourrait déterminer sa faculté calorifique, si l'on avait un moyen d'évaluer le poids de l'oxigène qu'il absorberait en brûlant. Or cette évaluation peut s'obtenir d'une manière simple et expéditive, sinon rigoureusement, du moins avec assez d'exactitude pour qu'on puisse en déduire des résultats fort utiles dans la pratique. Voici comment. Plusieurs oxides métalliques se réduisent avec une telle facilité, que lorsqu'on les chauffe

avec un corps combustible, celui-ci se trouve brûlé complètement sans qu'aucun de ses élémens puisse échapper à l'action de l'oxigène ou se dégager à l'état de vapeur huileuse, etc., si l'on opère d'une manière convenable. La composition de l'oxide étant bien connue, si l'on prend le poids de la partie qui a été amenée à l'état métallique, on en déduit immédiatement la proportion d'oxigène employée à la combustion. Pour pouvoir recueillir le métal, et le séparer de la partie non réduite, il faut qu'il soit fusible ainsi que son oxide : la litharge satisfait à toutes ces conditions, et l'expérience prouve qu'elle brûle complètement la plupart des matières combustibles solides que l'on emploie en grand pour produire de la chaleur, et les seules dont nous nous occupions ici : il n'y a exception que pour quelques substances très bitumineuses qui, renfermant une grande proportion d'élémens volatils, peuvent laisser échapper une partie de ces élémens avant que la température soit assez élevée pour que la réduction de l'oxide puisse avoir lieu. On procède à l'expérience comme il suit.

Opération.

On prend 1 gramme du combustible réduit en particules aussi fines que possible : si c'est du charbon, de la houille, du coke, on le porphyrise pour l'amener à l'état de poudre impalpable : si c'est du bois, on se procure de la sciure très menue au moyen d'une scie mince, ou bien en le râpant avec une lime à grains serrés. On mêle la poudre avec une quantité de litharge un peu plus grande que celle qu'elle peut réduire, 20 grammes au moins, 40 grammes au plus : on connaît toujours cette quantité approximativement, d'après la nature et l'aspect du combustible. On introduit le mélange avec soin au fond d'un creuset de terre, et l'on met par-dessus 20 à 30 grammes de litharge pure : le creuset doit être à moitié rempli tout au plus. On place ce creuset sur un fromage, dans un fourneau de calcination déjà échauffé et rempli de charbon bien allumé ; on met dessus un couvercle, et l'on chauffe graduellement. Il y a ramollis-

sement, bouillonnement et souvent boursouflement. Lorsque la fusion est complète, on couvre le creuset de charbon, et l'on donne un coup de feu pendant environ dix minutes, pour que tout le plomb puisse se rassembler en une seule masse. On retire le creuset, on le laisse refroidir à l'air, on le casse, et l'on retire le culot de plomb, que l'on pèse. Ce culot n'adhère ni au creuset ni à la scorie, et il suffit d'un coup de marteau pour l'enlever. Mais quelquefois il est livide, feuilleté et peu ductile, et alors il est pénétré d'une petite quantité de litharge qui en augmente sensiblement le poids ; cela arrive lorsque l'expérience a été faite trop rapidement. Quoique cette cause d'erreur soit négligeable, il vaut cependant mieux l'éviter, et l'on y parvient en laissant le creuset au feu pendant un certain temps après que la fusion a eu lieu, en ayant attention pourtant de ne pas l'y laisser assez pour qu'il coure risque de se percer. Il arrive alors que la litharge dissout une partie de l'argile du creuset, et forme un silicate compact et vitreux qui n'a pas, comme la litharge pure, la propriété de s'imbiber dans le plomb métallique.

Vérification. Au lieu de laisser la matière se refroidir dans le creuset, on peut la couler rapidement dans une lingotière en fer. De cette manière, si le creuset est bon il peut servir pour deux et même pour trois opérations semblables : cependant il est préférable d'en prendre un neuf pour chaque essai. Les expériences doivent être répétées au moins deux fois, et l'on ne doit compter sur les résultats que quand ils ne diffèrent que de 1 à 2 décigrammes.

Nature de la litharge. La litharge marchande de première qualité est toujours un peu rouge, parce qu'elle contient une certaine proportion de minium. Si cette proportion était un peu considérable, la litharge serait impropre à servir à l'essai des combustibles; mais elle est ordinairement assez petite pour qu'on puisse ne pas y avoir égard; seulement, pour atténuer cette cause d'erreur, il faut avoir soin, comme nous l'avons recommandé, de n'employer que très peu plus

de litharge qu'il n'en faut pour brûler le combustible, car si l'on en employait un grand excès, une partie du combustible serait consumée, sans produire de plomb, à ramener le minium à l'état de protoxide. Si l'on tenait à éviter la présence du minium, il faudrait fondre très rapidement de la litharge du commerce dans un creuset, sans addition, ou avec addition de 1 à 2 millièmes de son poids de poussier de charbon; la laisser refroidir en tenant le creuset bien couvert, pour éviter le contact de l'air; la piler, et la passer à travers un tamis fin. On pourrait aussi la remplacer par du *massicot* passé au tamis de soie.

Le carbone pur produirait avec la litharge exempte de minium, 34 fois son poids de plomb, et le gaz hydrogène 103,7 son poids, c'est-à-dire un peu plus de trois fois autant que le carbone. On peut, d'après ces données, trouver pour un combustible quelconque son équivalent soit en carbone, soit en hydrogène, sous le rapport de l'effet calorifique. Lorsqu'un combustible renferme des matières volatiles, on en connaît la proportion par l'analyse immédiate : si, de plus, on recherche la proportion de plomb qu'il donne avec la litharge, il est facile de calculer l'équivalent, en carbone, des matières volatiles, et par suite, de savoir quelle est la valeur calorifique des substances que l'on dégage d'un combustible en le soumettant à la carbonisation. Supposons qu'une substance fournisse à la distillation C de charbon, soustraction faite du poids des cendres, et V de matières volatiles, et qu'il produise P de plomb avec la litharge. La quantité C de charbon donnerait $34 \times C$ de plomb, la quantité V de matières volatiles ne donnerait que $P - 34 \times C$; elle équivaudrait donc à $\frac{P - 34 \times C}{34}$ de carbone; il suit de là que les quantités de calorique développées par le charbon, les matières volatiles et le combustible non altéré, seraient entre eux comme les nombres $34 \times C$, $P - 34 \times C$ et P, qui représentent des quantités de plomb, ou comme les nombres C, $\frac{P - 34 \times C}{34}$ et $\frac{P}{34}$, qui représentent des quantités de carbone.

Carbone équivalent.

Utilité. Ces évaluations, auxquelles on parvient d'une manière si simple, offrent de l'intérêt, et sont propres à bien faire connaître la valeur relative des différens combustibles, et le meilleur usage que l'on peut faire de chacun d'eux.

Nous avons dit que l'on avait généralement adopté, pour exprimer la capacité calorifique des combustibles, une unité que l'on appelle *calorie*, qui représente la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer de 1° un poids d'eau liquide égal à celui du corps. Lorsque l'on connaît la proportion de plomb que donne un combustible avec la litharge, il est facile de calculer son pouvoir calorifique ou *calorie*, parce que l'on a déterminé, par expériences directes, le poids d'eau que le charbon pur peut échauffer de 1°. Ce poids est, selon M. Despretz, de 7815 fois celui du charbon; or, comme ce corps produit avec la litharge 34 fois son poids de plomb, il s'ensuit que chaque partie de plomb produite par un combustible équivaut à 230 unités calorifiques ou *calories*.

Rayonnement. — Lorsqu'un corps est en combustion la chaleur se dissipe de deux manières différentes : 1°. par les gaz qui se produisent, et le courant d'air qui s'établit naturellement; 2°. par le rayonnement. Pendant long-temps on a négligé le rayonnement, parce qu'on le regardait comme très faible; mais les expériences que M. Péclet a faites sur quelques combustibles ont au contraire prouvé que c'est par le rayonnement qu'une grande partie de la chaleur qui résulte de la combustion est lancée sur les corps environnans; il devient donc fort utile de déterminer quelle est la portion de la chaleur totale qui se disperse par cette cause. Voici comment on peut faire ces recherches, d'après M. Péclet.

Calories. L'appareil consiste dans une caisse annulaire de fer-blanc ABCD (Pl. XII, Fig. 4). L'espace compris entre les deux cylindres concentriques ABCD et *abcd*, est fermé à la partie inférieure et à la partie supérieure : la paroi supérieure renferme deux tubulures *m* et *n*, destinées à recevoir deux thermomètres à longs réservoirs, dont les tiges passent à travers le bouchon de liége qui les ferme. Au

centre du cylindre intérieur, qui est complètement ouvert par les deux extrémités, est suspendu un hémisphère en fil de fer, destiné à recevoir le combustible : l'intérieur du cylindre *abcd* est recouvert d'une couche mince de noir de fumée, et l'appareil est supporté par trois pieds *x*, *y*, *z*.

Opération. Pour faire usage de cet appareil on commence par remplir d'eau l'intervalle des deux cylindres, on place les thermomètres, et l'on introduit dans la grille M une quantité déterminée de combustible que l'on enflamme : une partie de la chaleur rayonnante est reçue par la paroi *abcd* du vase et passe dans l'eau. Lorque la combustion est terminée, on observe, à l'aide des thermomètres, la température du liquide; alors, connaissant son poids et celui de l'enveloppe métallique, on peut obtenir facilement la quantité de chaleur rayonnante absorbée. Mais pour en déduire la quantité totale de chaleur rayonnante émise par le combustible, il faut évidemment déterminer le rapport entre l'étendue totale de la sphère et celle du secteur annulaire circonscrit au cylindre *abcd*, car le vase n'a réellement recueilli que les rayons compris entre les droites qui joignent le centre de l'émicylindre M, avec tous les points de la circonférence supérieure et inférieure du cylindre intérieur; et tous les rayons dirigés sur les calottes spiriques *ac* et *bc* ont échappé. Ce dernier rapport est facile à déterminer. En effet, on sait que la portion de la surface de la sphère engendrée par une portion quelconque d'arc, est proportionnelle à sa projection sur l'axe de rotation : par conséquent la surface absorbante est à la sphère totale, comme *g* est à *gh*.

Précautions. Il est évident que pour éviter la perte de chaleur par les parois de l'appareil, il faut employer le procédé de Rumfort, et mettre dans le vase de l'eau dont la température soit au-dessous de celle de l'air atmosphérique, d'une quantité égale à celle dont elle sera élevée au-dessus à la fin de l'expérience.

SECTION II.

Du bois.

ARTICLE PREMIER. — *Propriétés physiques.*

Structure. — Le bois présente dans sa structure des fibres longitudinales parallèles qui laissent entre elles des espaces tubulaires et vésiculaires. Ces tubes et ces vésicules sont remplis d'un liquide qu'on appelle la *sève*, et de fluides aériformes qui circulent sans cesse pendant la végétation. Après la mort de l'arbre, ces fluides et ce liquide restent stagnans dans le bois, et ne s'en séparent, par évaporation, qu'en partie et peu à peu. Les différentes parties du bois vivant ne renferment pas la même quantité de sève. Rumfort a trouvé que le corps d'un tilleul coupé en septembre en contenait les 0,56 de son poids, tandis que les racines n'en contenaient que les 0,50, et les menues branches les 0,043. La proportion des fluides aériformes est inverse de celle de la sève. Six espèces de bois en branches de grosseur moyenne, coupées en vert à la fin de l'automne et récoltées dans un sol sablonneux, ayant été conservées pendant six mois dans une chambre sèche, ont éprouvé des pertes de poids indiquées dans le tableau ci-dessous.

Sève.

Sainte-Lucie.....	0,26	Mûrier blanc.....	0,31
Mûrier de la Chine.	0,26	Noisetier.....	0,33
Arbre de Judée.....	0,27	Tilleul.....	0,40

On admet qu'en général les bois verts renferment de 0,37 à 0,48 de liquides, selon qu'ils sont plus ou moins compactes, et qu'après un an de coupe ils en retiennent de 0,20 à 0,25. Selon Rumfort, une poutre de chêne conservée à l'abri de l'humidité pendant cent ans, perd encore, par une forte dessiccation, 0,09 de son poids.

Hygrométricité. — Le bois est un corps extrêmement hygrométrique : il absorbe une très grande proportion d'eau dans l'air humide, et lorsque ensuite on le soumet à une chaleur graduée, il abandonne cette eau par portions successives qui dépendent de la température. Selon

M. Karsten, des copeaux de chêne parfaitement desséchés à l'air, perdent encore 0,103 de leur poids, à la température de l'ébullition; mais à cette température le bois retient encore une quantité très notable d'eau.

Rumfort, pour le dessécher complètement, le réduisait en copeaux minces et l'exposait au moins pendant vingt-quatre heures, et jusqu'à ce qu'il commençât à brunir, dans une étuve fermée, à la température de 128° centigrades. M. Prout a trouvé que le saule et le bouleau, à l'état de poudre fine et purgés de sève par l'eau bouillante, contiennent encore 0,145 d'eau après la dessiccation à l'air, et que pour leur enlever toute cette eau il faut les chauffer graduellement jusqu'à la température d'environ 160°. Tous les bois, quels qu'ils soient, parfaitement desséchés, et conservés dans une chambre sans feu, absorbent 0,08 à 0,10 d'eau en un an. Dessiccation.

Pesanteur spécifique. — La plupart des bois sont plus légers que l'eau, mais leur densité varie extrêmement, selon leur essence et selon leur état de dessiccation. Cependant la matière ligneuse elle-même, indépendamment des pores dont elle est criblée, est plus pesante que l'eau; et, selon Rumfort, sa densité est à peu près la même pour toutes les espèces de bois; cette densité ne variant que de 1,46 à 1,53. Rumfort est parvenu à ce résultat en faisant bouillir dans l'eau des copeaux de différens bois, parfaitement desséchés à l'étuve et pesés exactement, les pesant de nouveau lorsqu'ils étaient pénétrés d'eau, et calculant la pesanteur spécifique, en ayant égard à la quantité de liquide qu'ils avaient absorbée.

La porosité des bois oblige, lorsqu'on veut déterminer quelle est leur pesanteur spécifique, en les supposant imperméables, de les peser après qu'on les a plongés dans l'eau pour avoir le poids de liquide qu'ils ont absorbé, et l'on ajoute ce poids à celui de l'eau déplacée; mais M. Marcus Bull a remarqué que ce procédé est inexact, parce que le bois se gonfle promptement dans l'eau, et devient spécifiquement plus léger d'une quantité considérable. Il préfère empêcher l'eau de pénétrer, et pour Correction relative à la porosité.

cela il enduit les morceaux, après les avoir pesés, avec un vernis qui a exactement la même densité que l'eau, et qu'il obtient en mélangeant ensemble de la cire et de la résine, dont les densités sont de 0,967 et 1,079.

Résultats. M. Marcus Bull a trouvé par ce procédé la pesanteur spécifique des espèces de bois les plus communes, comme il suit :

Noyer à écorce écailleuse.....	1000
Chêne blanc, châtaignier.....	885
Frêne d'Amérique.....	772
Hêtre des bois...	724
Charme.....	720
Pommier sauvage.....	697
Sassafras.....	618
Cerisier de Virginie.....	597
Orme d'Amérique.....	580
Cèdre de Virginie.....	565
Pin jaune.....	551
Bouleau à feuilles de peuplier.	530
Châtaigner d'Amérique.....	522
Peuplier d'Italie.....	397

L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* adopte, pour pesanteur spécifique

Du hêtre.....	852	Du tilleul.....	604
Du frêne.....	845	Du cyprès.....	598
De l'if.....	807	Du cèdre..... ...	561
De l'orme.....	800	Du peuplier blanc..	529
Du pommier.....	733	Du sassafras.....	482
De l'oranger.....	705	Du peuplier ordin...	383
Du sapin jaune.....	657	Du liége.	240

Dans une même espèce de bois la pesanteur spécifique varie selon l'âge du sujet, la nature du sol dans lequel il croît, le climat, etc.; elle n'est pas non plus la même pour les branches que pour le tronc, pour le tronc que pour les racines : le jeune bois pèse plus que le vieux, le cœur de l'arbre plus que l'aubier, etc.

Selon Rumfort, la pesanteur spécifique

D'un corps de chêne en pleine végétation est de..... 961

De rondins de chêne coupés depuis plusieurs années.	883
D'une poutre de chêne conservée depuis cent ans.	682
Des mêmes bois complètement desséchés.	610

Poids du bois cordé.—Le poids d'une mesure donnée de bois cordé dépend de la pesanteur spécifique, de la grosseur des morceaux, de leur forme, et du soin plus ou moins grand avec lequel ils sont rangés, Toutes choses égales d'ailleurs, plus les morceaux sont gros et plus le poids de la mesure est considérable, à tel point qu'un stère de grosses bûches pèse souvent plus que le double d'un stère de bois menu, dit bois de *charbonnage*. Les marchands ont l'art de corder le bois de manière à en faire tenir le moins possible dans la mesure; aussi le volume d'une pareille mesure diminue-t-il d'un quart, et même quelquefois d'un tiers, lorsqu'on en dispose le bois avec tout le soin nécessaire pour remplir les vides, autant que cela est possible.

Résultats de pesées. Chêne.

Nous insérons ici quelques données qui pouront être utiles. — Le chêne des environs de Moulins (Allier), récolté dans un terrain composé d'argile et de gros sable, débité en grosses bûches refendues de $1^m,3$ de longueur, et cordé par le marchand, pèse 375 kilogrammes le stère, ou 26 livres le pied cube. — Le même bois coupé en quatre dans sa longueur, et rangé avec soin, donne un volume moindre de un quart, et pèse 450 kilogrammes le stère, ou 30 livres le pied cube. — A Niederbrunn (Bas-Rhin), le chêne en grosses bûches refendues pèse 420 kilogrammes le stère, ou 28 livres le pied cube. — Le chêne crû dans le *causse* (sol calcaire) de la Roque-les-Arcs, près de Cahors (Lot), âgé de 80 ans, coupé depuis un an, et débité en bûches de 1 mètre de longueur et de 5 à 15 centimètres de diamètre, pèse, étant cordé exactement, mais sans qu'on prenne un soin minutieux à remplir les vides, 525 kilogrammes le stère, ou 36 livres le pied cube. — Le bois de chêne de charbonnage du département du Cher pèse 220 à 260 le stère, ou 15 à 18 livres le pied

cube. — Le chêne des environs de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), en branchages de 1 décimètre environ de diamètre, et très sec, pèse 333 kilogrammes le stère, ou
Aulne. 22 livres le pied cube. — L'aulne du même pays, et aussi en branchages et très sec, pèse 300 kilogrammes le stère,
Noisetier. ou 20 livres le pied cube. — Le noisetier du même pays pèse, après trois mois de coupe, 310 kilogrammes le stère,
Hêtre. ou 20 $\frac{1}{2}$ le pied cube. — Le hêtre des environs de Moulins (Allier), en gros rondins refendus, très sec et cordé avec soin, pèse 440 kilogrammes le stère, ou 30 livres le pied cube. — Le même bois, vieux et vermoulu, ne pèse que 375 kilogrammes le stère, ou 26 livres le pied cube. A Niederbrunn (Bas-Rhin), le hêtre en grosses bûches refendues ou en gros rondins pèse 400 kilogrammes le stère, ou 26 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube, et le même bois en gros quartiers noueux pèse de 600 à 670 kilogrammes le stère, ou de 40 à 44 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube. — Le hêtre de charbonnage de Pontgibaud pèse, après trois mois de coupe, 333 kilogrammes le stère, ou 22 livres le pied cube. —
Bouleau. La mesure de bois de bouleau de Moulins a le même poids que la mesure de chêne. — Le bouleau de charbonnage de Pontgibaud, en taillis, pèse, après trois mois de coupe,
Tremble. 225 kilogrammes le stère, ou 16 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube. — Le bois de tremble de charbonnage du département du Cher pèse 190 à 220 kilogrammes le stère, ou 13 à 15 livres le pied cube. — Le gros bois de sapin dont on fait usage dans les salines de Moutiers (Savoie), pour chauffer les chaudières, pèse 300 à 340 kilogrammes le stère, ou
Sapin. 21 à 22 livres le pied cube. — Le sapin des environs de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), en branchages de 1 décimètre de diamètre au plus, coupé en mars, pèse, immédiatement après le cordage, 428 kilogrammes le stère, ou
Pin. 28 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube. — A Niederbrunn (Bas-Rhin), le pin en bûches refendues pèse 330 à 380 kilogrammes le stère, ou 22 à 25 livres le pied cube, et le pin en branchages pèse, lorsqu'il est très sec, 250 kilogrammes le stère, ou 16 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube. — Le pin sylvestre de Russie pèse 303 kilogrammes le stère, ou 21 livres le

pied cube. — Dans le Fichtelgebirge (Bavière), on estime que le stère de bois résineux en grosses bûches pèse 406 kilogrammes, et que la densité de ce bois est de 730; en bûches mêlées avec un quart de branchages, le stère pèse 340 kilogrammes. — Enfin, le bois que l'on charbonne en vase clos, à Choisy près de Paris, pèse 250 kilogrammes le stère, ou 17 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube.

Résultats de Marcus Bull.

M. Marcus Bull a reconnu, par un grand nombre d'expériences, que le plus ordinairement il y a 0,56 de plein et 0,44 de vide dans le bois cordé. D'après ce fait, et au moyen des pesanteurs spécifiqnes qu'il avait déterminées, il a calculé le poids d'un stère de différens bois secs. Voici ces poids :

Noyer à écorce écailleuse.....	558 kilogr.
Chêne blanc, châtaignier.....	489
Frêne d'Amérique.....	427
Hêtre des bois.....	400
Charme.....	398
Orme d'Amérique.....	320
Pin jaune.....	304
Bouleau à feuilles de peuplier...	293
Châtaignier d'Amérique.....	288
Peuplier d'Italie.....	219

Comme le bois d'un an de coupe retient encore environ 25 pour 100 d'eau, pour avoir le poids du bois parfaitement sec, il faudrait multiplier les nombres précédens par $\frac{4}{5}$.

ARTICLE II. — *Composition et propriétés chimiques.*

§ 1er. — Caractères et composition.

Caractères. — Le bois se conserve indéfiniment dans l'air sec, ou s'il est tenu constamment plongé dans l'eau; mais lorsqu'il est exposé à l'influence alternative ou simultanée de l'air, de l'eau et de la lumière, il s'altère peu à peu en absorbant de l'oxigène et en produisant de l'acide carbonique; il perd de sa cohésion et il finit par se convertir en une poudre grise ou brunâtre.

Action de l'air et de l'eau.

Action des réactifs. Le chlore blanchit le bois sans le dissoudre. L'acide nitrique concentré et bouillant le jaunit, détruit sa cohérence et finit par le convertir en acide oxalique. L'acide hydrochlorique concentré le noircit sans le rendre soluble. L'acide sulfurique concentré en excès le transforme, à froid, en gomme; et si ensuite on étend d'eau la dissolution et on la fait bouillir, la gomme se change en sucre de raisin. La sciure de bois, imbibée d'acide sulfurique concentré, donne lieu, à l'aide de la chaleur, à un grand dégagement d'acide sulfureux, et se change en une substance charbonneuse difficile à brûler. Les alcalis caustiques en dissolution étendue, n'exercent qu'une faible action sur le bois; mais en chauffant de la sciure de bois avec son poids de potasse caustique et un peu d'eau, on la dissout en totalité, et l'on obtient une liqueur brune qui contient beaucoup d'acide oxalique et d'acide acétique, et une substance qui a la plus grande analogie avec ce que l'on a appelé *ulmine* ou *géine*, et pendant l'opération il se dégage, avec grand boursouflement, de la vapeur d'eau dont l'odeur est très empyreumatique, et il y a absorption d'oxigène atmosphérique.

Composition. *Composition.* — Le bois est essentiellement composé de *ligneux* qui en forme comme l'ossature; mais il renferme en outre diverses substances que la sève tient, pour la plus grande partie, en dissolution ou en suspension. Ces substances sont principalement l'extractif, la gomme, les résines et les principes colorans; elles se trouvent dans plusieurs espèces en proportion considérable. Le coton et le fil blanc sont du ligneux à peu près pur. On peut encore se procurer du ligneux pur, selon M. Proust, en faisant bouillir de la sciure de bois peu colorée, d'abord avec de l'eau, ensuite avec de l'alcool, la lavant encore avec de l'eau et la faisant sécher convenablement. Si la dessiccation n'a lieu qu'à la chaleur de 100°, la matière retient encore 0,145 d'eau non combinée; mais en portant la chaleur jusqu'à 150 ou 160°, et en la maintenant pendant quelques heures, jusqu'à ce que la poudre commence à brunir, on a le ligneux par-

faitement sec : dans cet état il est composé de parties égales de carbone et d'eau, ou plutôt d'hydrogène et d'oxigène, dans le rapport rigoureusement propre à constituer l'eau. Ce résultat est tout-à-fait conforme à celui que MM. Gay-Lussac et Thénard avaient obtenu il y a déjà long-temps.

Les bois ordinaires peu colorés, simplement séchés à l'air pendant au moins un an, sont composés de :

Carbone.....	0,3848	1,0000.
Cendres.....	0,0100	
Eau combinée.....	0,3552	
Eau hygrométrique...	0,2500	

Résultat de Rumfort.

Rumfort ayant chauffé de la sciure pendant quatre jours, à la température de 128°, l'a changée en une substance noire qu'il croyait être du charbon, et d'après cela il considérait cette sciure comme formée de

Charbon.....	0,430	1,000,
Chair végétale.....	0,125	
Eau.....	0,445	

la chair végétale étant formée de carbone et d'hydrogène sans oxigène ; mais cette manière de voir est inexacte, et M. Karsten a prouvé que le résidu prétendu charbonneux n'est qu'un ligneux altéré qui contient encore de l'hydrogène et de l'oxigène.

§ 2. — Distillation.

Produits généraux. — Le bois donne à la distillation, 1°. des gaz combustibles qui se composent essentiellement d'hydrogène carboné mêlé d'acide carbonique, de gaz oléfiant, d'hydrogène pur et d'oxide de carbone ; 2°. de l'eau, de l'acide acétique ; 3°. des huiles empyreumatiques qui, vers la fin, sont brunes et épaisses comme du goudron ; et 4°. il reste du charbon qui conserve la forme du morceau de bois, mais qui occupe un volume beaucoup moindre. Dans le commencement de la distillation, il ne se dégage presque que de l'eau pure, ensuite vient de l'eau acide ; puis les substances qui se dégagent deviennent de moins en moins oxigénées, à tel point que les dernières équivalent au moins à la moitié de leur poids de carbone.

Résultats d'expériences.

On a chauffé de la sciure de bois, à doses égales, dans des cornues de terre, à une chaleur graduée et pendant des temps différens, de manière à en dégager des proportions diverses de substances volatiles, et l'on a recherché le pouvoir calorifique des résidus. La sciure employée était très sèche et laissait 0,025 de cendres; elle donnait, par la calcination, 0,179 de charbon, qui produisait 32 fois son poids de plomb avec la litharge. On a eu les résultats suivans en exprimant le pouvoir calorifique par la quantité de plomb qu'une partie de chaque résidu a produite avec la litharge.

Poids du résidu.		Proportion des substances volatiles restantes.		Pouvoir calorifique.
0,20	—	0,12	—	29,5
0,25	—	0,28	—	26,5
0,30	—	0,40	—	24,2
0,45	—	0,60	—	19,2
0,60	—	0,70	—	18,0

Effets de la température. — Les produits de la distillation du bois sont très différens, selon que l'on opère rapidement, ou lentement à une chaleur d'abord très basse, puis graduée successivement. Dans le premier cas les produits sont beaucoup plus riches en combustibles que dans le second : aussi par la distillation rapide n'obtient-on ordinairement que les deux tiers du charbon que donne la distillation lente, et souvent même moitié seulement. D'après M. de Saussure, le bois de chêne distillé à une température graduée donne les produits suivans sur 100 grammes :

Résultat de M. de Saussure.

	litres		gr.
Gaz hydrogène carboné..	21,60	pesant.....	33,15
Gaz acide carbonique....	5,42		
Eau contenant un peu d'huile, d'acide acétique et d'acétate d'ammoniaque.....			40,04
Huile empyreumatique.....			5,55
Charbon.....			21,01
Cendres.....			0,25
			100,00

On admet en général que dans la distillation que l'on opère par la méthode de M. Mollerat, on obtient 0,30 à 0,37 de gaz, qui est conduit sous les foyers pour être brûlé; 0,18 à 0,20 d'eau acide ou acide pyroligneux, dont on extrait 0,011 d'acide acétique pur; 0,15 de goudron, qui ne commence à se vaporiser qu'à la température de 256°, et 0,23 à 0,27 de charbon. Résultats de M. Mollerat.

Stoltz a trouvé que tous les bois, lorsqu'ils ont été bien lessivés et débarrassés des résines qu'ils peuvent contenir, donnent à peu près les mêmes produits à la distillation. Voici quels sont ces produits pour 100 p. d'un certain nombre de bois bien desséchés à l'air : Résultats de Stoltz.

Bois.	Acide pyroligneux.	Huile empyreumatique.	Charbon.	Gaz.
Bouleau.....	45,0	8,60	24,40	20,00
Hêtre.....	44,0	9,55	24,60	22,85
Chêne.....	43,0	9,06	26,20	21,74
Frêne.....	46,8	8,80	22,10	22,30
Peuplier blanc.....	45,8	8,05	23,40	22,85
Prunier sauvage....	43,7	10,35	21,60	24,35
Genévrier.....	45,8	10,73	22,70	20,77
Sapin.....	41,2	13,70	21,20	23,90
Pin.....	42,4	11,80	21,50	24,30

L'acide pyroligneux que fournit chacun de ces bois a un pouvoir saturant qui est représenté par 55, 50, 50, 44, 39, 37, 29, 29 et 28.

Dans la fabrique de produits chimiques de Than (Haut-Rhin), le mètre cube de hêtre produit 69 kilogrammes de charbon et 4 kilogrammes d'acide acétique pur.

Produits liquides. — Les produits provenant de la distillation du bois ont été examinés par plusieurs chimistes, et principalement par M. Berzelius. Les huiles empyreumatiques sont, comme nous l'avons déjà dit, des combinaisons d'huiles volatiles qu'on appelle *pyrélaïdes*, de résines qu'on appelle *pyrétines*, et d'acide acétique. Lorsqu'on distille ces huiles sans addition, leur point d'ébullition s'élève graduellement, et elles fournissent les mêmes produits que le Huiles.

bois, en laissant un résidu de charbon; mais si on les distille avec de l'eau, les huiles volatiles ou les pyrélaïdes se dégagent seules, et les pyrétines restent dans la cornue, toujours combinées avec de l'acide acétique.

Goudron. Le *goudron* est le produit de la distillation du bois résineux. Il se compose de plusieurs résines, d'huiles empyreumatiques, de colophane et d'acide acétique. Il est brun et visqueux, fortement odorant, et est soluble dans l'alcool, l'éther, les huiles grasses et les huiles volatiles, et même un peu soluble dans l'eau. Quand on le distille avec de l'eau, il s'en dégage de l'huile de térébenthine et des huiles pyrogénées : le résidu, connu sous le nom de *poix*, se compose de colophane et de résine; il est mou à 33°, fusible dans l'eau bouillante, soluble dans l'éther, les alcalis et les carbonates alcalins.

Pyrétines. Les *pyrétines* sont en général incolores ou légèrement jaunâtres, d'une odeur forte et très désagréable, et d'une saveur âcre et nauséabonde. Elles brûlent avec flamme claire et fumée; elles se vaporisent à l'air. Les unes sont inaltérables par l'air et par le protosulfate de fer; les autres sont rapidement converties en résine par ces substances. Elles sont très solubles dans l'éther, les huiles grasses et les huiles volatiles; mais il y en a qui sont peu solubles dans l'alcool. Elles dissolvent très aisément le caoutchou. Elles forment avec l'acide sulfurique concentré des composés analogues à l'acide sulfovinique. L'acide nitrique les convertit en résinoïdes. Les unes se dissolvent et les autres ne se dissolvent pas dans les alcalis. Elles forment des émulsions avec l'ammoniaque.

Pytétines de bouleau. Les pyrétines qui proviennent de la distillation du bois renferment toujours de l'acide acétique en combinaison, et rougissent le tournesol. Celle que donne le bouleau ressemble à la poix ordinaire; elle est solide, noire, éclatante, à cassure vitreuse, plus pesante que l'eau; elle se ramollit à la chaleur de la main. Quand on la distille, elle se gonfle et laisse dégager de l'eau acide, puis elle se fond, bout tranquillement, et se charbonne en abandonnant de l'huile empyreumatique. Si l'on distille

avec de l'eau cette huile empyreumatique, il reste une pyrétine molle et visqueuse complètement soluble dans l'éther, l'huile, la térébenthine, et en partie soluble dans l'huile d'olive et dans la potasse caustique. Quand on fait bouillir pendant long-temps avec de l'eau la pyrétine du bouleau, et en renouvelant ce liquide, on obtient une liqueur jaune acide qui laisse déposer de la pyrétine par refroidissement, et en outre un résidu pulvérulent noir jaunâtre, soluble dans l'acide acétique, et en partie soluble dans l'alcool : la portion insoluble dans ce réactif a les plus grands rapports avec la substance que l'on nomme *géine* ou *ulmine*.

Les pyrétines sont fixes par elles-mêmes; mais les pyrélaïdes, qui les dissolvent facilement, les rendent plus ou moins volatiles.

Les *pyrélaïdes*, produites par une première distillation des huiles, sont jaunes; mais on peut les décolorer complètement par distillation; elles varient de nature, selon l'espèce de bois dont elles proviennent. La plupart sont liquides, mais il y en a de solides : on nomme celles-ci *pyrostéarines*. Pyrélaïdes.

M. Reichenbach a extrait des huiles empyreumatiques provenant de la distillation de divers végétaux, et principalement du bois de hêtre, deux pyrélaïdes particulières, l'une solide, qu'il a appelée *paraffine*, et l'autre liquide, qu'il a nommée *eupion*. Cette dernière s'extrait en plus grande abondance des huiles animales.

La *paraffine* est d'un blanc pur, cristalline, tendre, mate, mais prenant l'éclat gras par le frottement, sans odeur ni saveur; sa densité est de 0,870. Elle se fond à 43° $\frac{1}{2}$, en un liquide incolore, transparent, oléagineux; elle entre en ébullition à une température un peu plus élevée, et se distille sans altération. Elle brûle sans odeur et avec une flamme blanche, comme la cire. Elle est remarquable par son indifférence chimique; elle est inattaquable par le plus grand nombre de réactifs, et à peu près insoluble dans l'alcool ordinaire; elle se dissout bien dans l'éther et l'huile d'olive, mais seulement à Paraffine.

chaud; l'huile de térébenthine, l'huile de goudron, la dissolvent au contraire facilement à froid. Selon M. Jules Gay-Lussac, elle ne renferme pas d'oxigène, et elle a exactement la même composition que le gaz oléfiant. L'acide sulfurique concentré la décompose lentement, sans qu'il se produise d'acide sulfovinique. On peut s'en servir avec beaucoup d'avantage pour mastiquer les bouchons.

Eupion. L'*eupion* est liquide même à 20°, incolore et limpide comme de l'eau, sans saveur ni odeur; sa densité est de 0,740. Elle bout à 169°, et se distille sans se colorer; elle brûle facilement au moyen d'une mèche, et c'est, de toutes les huiles connues, celle qui produit le plus de lumière. Elle est absolument insoluble dans l'eau, et très peu soluble dans l'alcool ordinaire; mais elle se dissout bien dans l'alcool absolu, dans l'éther, l'huile de térébenthine ou de naphte. Elle dissout à chaud le soufre, le sélénium, le phosphore et la naphtaline; elle dissout à chaud, et sans s'altérer, le chlore, le brôme et l'iode. Les acides, les alcalis, le peroxide de manganèse, etc., sont sans action sur l'eupion, et l'on peut s'en servir pour conserver le potassium.

Acide pyroligneux. La liqueur acide que donne le bois par la distillation (*acide pyroligneux*), consiste en une dissolution dans l'eau, d'un composé d'acide acétique, d'huile empyreumatique, et d'une matière extractive. Suivant Stoltz, elle contient environ le seizième de son poids de ces deux dernières substances. Quand on la rapproche beaucoup, elle laisse déposer par refroidissement une pyrétine acide, et l'eau-mère retient toute la matière extractive. En y ajoutant de l'acétate de plomb, il s'en précipite du pyrétate de plomb; et si, en rapprochant au bain-marie pour chasser la plus grande partie de l'acide acétique, on reprend par l'eau, la liqueur ne contient plus que l'extractif, qu'on peut en séparer à l'état de pureté en précipitant le plomb par l'hydrogène sulfuré, et en évaporant ensuite jusqu'à siccité, à la chaleur de 100°. L'extractif est jaune brunâtre, limpide à chaud, dur et friable à froid, d'une saveur amère faible, et d'une odeur qui s'approche de celle de l'extrait

de viande; l'eau et l'alcool le dissolvent en partie; les liqueurs sont acides. La matière extractive soumise, à la distillation, donne de l'acide acétique, des huiles pyrogénées, et un résidu composé de pyrétine végétale et d'extrait soluble.

L'*acide pyroligneux* possède au plus haut degré les propriétés antiputrides. On le traite en grand par différens procédés pour en extraire de l'*acide acétique* pur. Stoltz dit qu'en le distillant on peut en séparer les sept huitièmes de son poids d'acide incolore; mais cet acide n'est pas pur et jaunit à l'air. Pour détruire les substances huileuses, etc., on peut, 1°. le chauffer à 90° avec du peroxide de manganèse, et le faire digérer ensuite avec du charbon de bois calciné, et le distiller; 2°. le traiter par l'acide sulfurique concentré; 3°. le chauffer avec un mélange de sel marin, d'acide sulfurique et de peroxide de manganèse; 4°. le combiner avec de l'hydrate de chaux en excès, puis le griller à une chaleur ménagée, laver le résidu et le distiller, etc.; 5°. le combiner avec de la chaux, dessécher et laver; puis décomposer l'acétate de chaux par le sulfate de soude, griller l'acétate de soude et le décomposer ensuite par l'acétate de plomb, puis décanter ou distiller; 6°. le filtrer à travers du charbon de bouleau calciné, à travers un filtre à la Dumont, etc. Acide acétique.

L'*esprit pyroligneux* a été découvert par P. Taylor. Il ne se trouve qu'en très petite proportion dans les produits de la distillation du bois; il a beaucoup d'analogie avec l'alcool, mais sa composition est différente. Pour l'obtenir on distille l'acide pyroligneux à une faible chaleur, en arrêtant l'opération dès que la liqueur qui se condense cesse d'être plus légère que l'eau; puis l'on concentre cette liqueur en la distillant avec du carbonate de potasse, etc., absolument de la même manière que pour l'alcool. Cet esprit est très fluide, incolore, d'une odeur éthérée un peu analogue à celle des fourmies, d'une saveur brûlante; sa pesanteur spécifique est de 0,828. Il bout à 65° $\frac{1}{2}$. Il brûle facilement en répandant une flamme bleue qui n'est pas accompagnée de fumée. Il est soluble dans l'alcool et Esprit pyroligneux.

l'éther, un peu soluble dans l'eau, et insoluble dans l'huile de térébenthine et dans l'huile d'olive. L'acide sulfurique le noircit et l'altère, mais sans produire d'éther. L'acide nitrique le transforme en un autre liquide volatil; il transforme le chlore en acide muriatique; il dissout la potasse caustique, le camphre, les résines et les gommes-résines. Il est composé, selon Macaire et Tennant, de

Carbone.....	0,4427	—	5 atomes.
Hydrogène.....	0,0940	—	13
Oxigène.....	0,4633	—	4

ou de 4 atomes d'eau et 5 atomes d'hydrogène carboné.

§ 3. — Carbonisation.

Contraction. — Le bois diminue de volume par la carbonisation. Cette diminution est différente selon les espèces, et varie selon que la carbonisation a lieu plus ou moins rapidement : elle est moins considérable dans la carbonisation brusque que dans la carbonisation lente. On l'évalue, pour les espèces communes, du tiers aux trois cinquièmes. Elle est moins grande pour les branches que pour le corps des arbres, pour les bois tendres que pour les bois durs, pour les vieux bois que pour les jeunes.

Selon M. Karsten.

Résultats. — Selon M. Karsten, les bois communs, amenés au même degré de dessiccation, donnent chacun à peu près la même proportion de charbon. Cette proportion est, pour le bois desséché à l'air, de 0,133 par la calcination brusque, et de 0,251, c'est-à-dire à peu près le double, par la distillation lente et graduée.

Selon M. Marcus Bull.

M. Marcus Bull a complètement desséché différens bois, et les a soumis ensuite à une calcination rapide dans un creuset, après les avoir enveloppés de poudre de charbon, pour les préserver de la combustion; il en a retiré les proportions de charbon ci-dessous :

Noyer à écorce écailleuse.....	0,2622
Chêne blanc, châtaignier.....	0,2276
Frêne d'Amérique.....	0,2295
Hêtre des bois.....	0,2574

Charme	0,1900
Orme d'Amérique	0,2485
Pin jaune	0,2375
Bouleau à feuilles de peuplier	0,1900
Châtaignier d'Amérique	0,2529
Peuplier d'Italie	0,2500

Expériences comparatives.

L'analyse immédiate faite par calcination rapide au creuset de platine, de différens bois communs et de quelques autres matières ligneuses, a donné les résultats suivans, auxquels nous joignons pour plusieurs l'indication du produit de la carbonisation en grand.

	Fil blanc. (1)	Coton blanc. (2)	Chêne. (3)	Hêtre. (4)	Aulne. (5)	Noisetier (6)	Bouleau. (7)
Charbon	0,096	0,142	0,171	0,137	0,152	0,134	0,137
Cendres	0,009	0,010	0,004		0,003	0,004	0,003
Matières volatiles	0,895	0,848	0,825	0,863	0,845	0,862	0,860
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

	Bourdenne. (8)	Buis (9)	Sapin. (10)	Pin. (11)	Liège. (12)	Acajou. (13)	Ébène. (14)
Charbon	0,138	0,155	0,183	0,148	0.183	0,184	0,305
Cendres	0,002	0,020	0,004	0,004	0,002	0,016	0,015
Matières volatiles	0,860	0,825	0,813	0,848	0,815	0,800	0,680
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Toile de fil très blanche* et à demi usée, que l'on peut considérer comme du ligneux pur. Le charbon avait l'aspect d'une toile assez consistante et élastique, tissue avec un fil d'un noir grisâtre métalloïde. Lorsqu'on traite la toile par de l'acide muriatique, les trois quarts de la matière des cendres se dissolvent. Fil.

(2) *Coton cardé très blanc.* Le charbon forme une Coton.

étoupe très élastique, composée de filamens extrêmement fins, d'un gris-noir métalloïde. En traitant le coton par l'acide muriatique, il se dissout beaucoup de chaux, et le résidu desséché ne donne plus que les 0,120 de son poids de charbon.

Chêne. (3) *Bois de chêne de Pontgibaud* (Puy-de-Dôme), en rondins de 1 décimètre de diamètre au plus, très sec, récolté dans un terrain sablonneux sur le bord de la Sioule : il donne en grand les 0,390 de son volume, et les 0,214 de son poids de charbon, ou 106 kilogrammes par stère.

Hêtre. (4) *Bois de hêtre de Pontgibaud*, en rondins ayant trois mois de coupe, récolté sur les escarpemens de la vallée de la Sioule, dans un terrain très rocailleux : il donne en grand les 0,34 de son volume, et les 0,203 de son poids de charbon, ou 71 kilogrammes par stère.

Aulne. (5) *Bois d'aulne de Pontgibaud*, très sec, et récolté dans le même terrain que le chêne (3) : il donne en grand les 0,380 de son volume, et les 0,196 de son poids de charbon, ou 60 kilogrammes par stère.

Noisetier. (6) *Noisetier de Pontgibaud*, ayant trois mois de coupe, récolté dans le même sol que le hêtre (4) : il donne en grand les 0,330 de son volume, et les 0,231 de son poids de charbon, ou 64 kilogrammes par stère.

Bouleau. (7) *Bois de bouleau de Pontgibaud*, en rondins ayant trois mois de coupe, récolté dans le même sol que le hêtre (4) : il donne en grand les 0,310 de son volume, et les 0,170 de son poids de charbon, ou 56 kilogrammes par stère.

Méthode d'Auvergne. La carbonisation des bois (3), (4), (5), (6) et (7) a été opérée avec un très grand soin, sous l'inspection de M. Fournet, directeur des mines de Pontgibaud, qui a mesuré et pesé tous les produits avec une exactitude scrupuleuse. Il décrit ainsi la méthode qu'il a suivie, et telle qu'elle est pratiquée dans la contrée. Les bûches ont $0^{m},65$ de longueur; on les range en tas circulaires de 1 mètre de haut et de 8 mètres de circonférence, et qui se composent de deux assises de rondins empilés debout

et disposés en dôme. Au centre se trouve une cheminée verticale remplie de menu charbon, et qui est destinée à propager le feu, en commençant par le sommet; toute la surface est recouverte de mousse et de frasil tamisé, pour empêcher la trop grande affluence de l'air. Le feu dure environ trente-six heures, et deux heures après la fin on défourne. Les fumées qui se dégagent au commencement de l'opération sont plutôt aqueuses que bitumineuses; mais au bout de douze heures l'odeur bitumineuse est très caractérisée, et les tas se recouvrent çà et là de taches blanches. Au bout de vingt-six heures, la chaleur est à son *maximum*, le frasil est aggloméré par du bitume torréfié, et l'odeur de la fumée est pénétrante et empyreumatique.

Les charbonniers regardent la production des efflorescences blanches comme un indice du succès de la carbonisation. Il est probable que ces efflorescences se composent principalement de paraffine; mais en outre j'ai observé que quand les matières dont on se sert pour recouvrir les fauldes sont calcaires, elles contiennent, après l'opération, beaucoup d'*acétate de chaux*. Cette observation porte à penser que l'on pourrait condenser l'acide acétique qui se produit dans la carbonisation du bois, et le recueillir à peu de frais, en saupoudrant les fauldes d'une couche mince de chaux, et enlevant cette couche à une certaine époque de l'opération.

(8). *Bois de bourdenne des environs d'Essonne*, dont on fait du charbon pour le service de la poudrière: il est en branches d'un centimètre de diamètre environ, entièrement dégarni d'écorce et parfaitement desséché; il ne contient qu'une très petite quantité de cendres qui sont extrêmement manganésifères. Bourdenne.

(9) Fragment d'un étui de *buis*. Buis.

(10) *Bois de sapin de Pontgibaud*, en branches de 1 décimètre de diamètre au plus, provenant d'arbres de 10 à 12 mètres de hauteur, récolté à la Chartreuse, dans un sol de mica-schiste et de gneiss, et très rocailleux : il a été analysé deux mois après avoir été coupé. Sapin.

M. Fournet en ayant soumis une certaine quantité à la carbonisation, immédiatement après l'abattage, en a obtenu les 0,363 de son volume, et les 0,146 de son poids de charbon, ou 62 kilogrammes par stère.

Le même bois, carbonisé après trois mois de coupe, a donné les 0,45 de son volume de charbon, et les 0,195 de son poids. Il résulte de cette expérience, que la présence de l'eau ne fait pas perdre sensiblement de charbon, et que le charbon provenant du bois non desséché est plus dense que celui qui résulte de la carbonisation du bois sec.

(11) *Bois de pin de Niederbrunn* (Bas-Rhin), en branchages et très sec : il croît dans le sol sableux des montagnes des Vosges. Il donne en grand, dans les usines de M. Dietrich, les 0,39 de son volume, et les 0,29 de son poids de charbon, ou 79 kilogrammes par stère. Ce produit est extrêmement considérable et dépasse la proportion qui a été indiquée jusqu'à ce jour. Mais comme il a été obtenu par M. Robin, directeur de l'usine de Niederbrunn, qui a mesuré et pesé le bois et le charbon avec le plus grand soin dans une expérience qu'il a dirigée lui-même, on ne saurait douter de l'exactitude du résultat. On doit donc croire que le grand avantage qu'il présente dépend de la bonté de la méthode de carbonisation. Voici quelle est cette méthode.

Méthode du Bas-Rhin.

Le bois est façonné avec beaucoup de soin. On le coupe à la scie en billons de 12 centimètres de longueur, et on le refend lorsqu'il dépasse la grosseur de la jambe. On prend aussi la précaution d'en retrancher tous les nœuds, pour n'avoir pas de bûches contournées, et afin de pouvoir serrer le bois le plus possible dans la construction des fauldes.

On choisit des places charbonnières qui soient à l'abri du vent, et on les nivelle parfaitement, en ayant soin d'enlever jusqu'aux moindres pierres.

Le bois est dressé verticalement sur trois étages. On le serre autant que possible, et l'on remplit le vide qui reste entre les bûches avec du bois que l'on coupe en

morceaux menus. Ces précautions ont pour effet de prévenir un affaissement irrégulier ou trop considérable de la faulde. On donne aux tas la forme conique et on les recouvre d'une couche de 12 à 15 centimètres d'un mélange de feuilles, de mousse et de gazon, chargé de terre. L'expérience a appris qu'il y avait avantage à charbonner à la fois de 50 à 100 stères de bois.

Le feu se met à la faulde par le haut, au moyen d'une cheminée de 25 centimètres ménagée dans l'axe du cône. Dès que le feu est pris on bouche la cheminée, et l'on perce à la base de la faulde, sur toute sa circonférence, des évents de 3 centimètres de diamètre, à la distance de 6 ou 10 décimètres les uns des autres, et qui restent ouverts pendant toute la durée de la carbonisation. Après quatre à cinq jours de feu, et lorsque le bois a complètement *sué*, on perce une rangée de nouveaux évents à la hauteur de la jonction des deux assises supérieures du bois : on laisse ces évents ouverts pendant deux à trois jours et jusqu'à ce qu'ils commencent à donner de la fumée bleue, ce qui annonce un commencement de combustion. Alors on pratique successivement deux nouvelles rangées d'évents, de manière à ce que la dernière se trouve à la jonction des deux premiers étages du bois. Lorsque la dernière assise a donné sa fumée la carbonisation est achevée. On bouche toutes les ouvertures, même celles de la base, et deux jours après on peut défourner. Pour les bois durs les derniers évents doivent être espacés de 33 centimètres, et pour les bois tendres de 50 centimètres.

Comme pendant le *suage* le feu élargit la cheminée, on a soin de remplir le vide qui se forme avec du bois mince ou du charbon, afin que la faulde ne se désorganise pas, et l'on répète cette opération deux à trois fois pendant la carbonisation. La cuisson d'une faulde dure de dix à vingt jours.

(12) *Liége* façonné en bouchons de première qualité : au lieu de se contracter par la carbonisation, comme le bois, il augmente de volume en se gonflant et en se fen-

dillant, et il laisse un charbon très léger qui brûle comme de l'amadou.

Selon M. Chevreul, le liége épuisé par l'eau perd 0,30 de son poids, sans changer d'aspect. Quand il a été ainsi traité, on l'appelle *subérine*, et il laisse à la distillation 0,25 de charbon.

Acajou. (13) *Sciure de bois d'acajou* très pure : les cendres sont de couleur blonde.

Ébène. (14) *Bois d'ébène* de premier choix, débité en règles polies. Le charbon était compacta, sans gerçures, et avait à peu près le même volume que la règle, dont il conservait même le poli ; son aspect différait peu de celui du bois non calciné.

Données admises dans les usines. Dans le département de la Nièvre on estime que le bois donne les 0,30 de son volume de charbon, et 60 kilogrammes par stère. — A Audincourt, le produit est des 0,40 en volume pour le bois en quartier, et des 0,35 pour le bois en rondins, ou de 70 à 78 kilogrammes par stère. — A Châtillon (Côte-d'Or) on obtient 0,40 en volume, et un peu plus de 81 kilogrammes par stère. — Dans les Pyrénées le bois donne 0,33 en volume, et 82 kilogrammes par stère. — Selon M. Robin, directeur de l'usine de Niederbrunn, appartenant à MM. Dietrich, en suivant la méthode de carbonisation décrite plus haut, dans le département du Bas-Rhin, le gros bois de chêne produit les 0,54 de son volume, et les 0,26 de son poids de charbon, ou 109 kilogrammes par stère. — Le gros bois de hêtre produit des 0,46 aux 0,57 de son volume, et de 0,235 à 0,250 de son poids de charbon, ou de 110 à 130 kilogrammes par stère. — Le même bois, en branchages, produit les 0,34 de son volume, et les 0,18 de son poids de charbon, ou 79 kilogrammes par stère. — Le gros bois de pin, refendu, donne les 0,54 de son volume, et les 0,54 de son poids de charbon, ou 86 kilogrammes par stère. — Selon M. Moser, dans le Fichtelgebirge, en Bavière, le bois résineux, mélangé de grosses bûches et de branchages, donne les 0,57 de son volume, et les 0,23 de son poids de charbon.

Selon M. Karsten, le jeune chêne et le jeune pin laissent 0,16 de charbon par calcination brusque; le jeune sapin et le jeune aulne n'en laissent que 0,140, et le jeune charme 0,128 seulement.

Effet de l'eau. — On admet généralement que l'eau combinée dans le bois diminue beaucoup la proportion de charbon qu'il peut produire, et que non-seulement le bois sec donne beaucoup plus de charbon que le bois vert, mais en même temps que le charbon est plus dense. L'expérience suivante, faite en petit, s'accorde avec cette opinion. Des branches de lilas coupées en septembre, ayant été mises à sécher sur un poêle pendant plusieurs jours, ont perdu 0,376 de leur poids; le bois sec a donné 0,172 de charbon, et le bois humide n'en donnait que 0,087, tandis qu'il aurait dû en produire 0,107, si l'eau de la sève n'eût pas agi sur la matière charbonneuse, pour la faire passer dans les parties volatiles. Cependant le résultat obtenu par M. Fournet (n° 10) porte à penser que dans la combinaison lente l'eau de la sève ne fait pas perdre de charbon.

Eau de la sève.

Mais lorsque le bois a été desséché, et qu'ensuite on l'imbibe d'eau d'une manière quelconque, cette eau est inerte et n'a aucune influence sur la proportion de charbon que donne le bois. Des morceaux d'érable d'un an de coupe, et conservés dans une chambre fermée, ayant été tenus pendant quelque temps dans l'eau tiède, ont absorbé le tiers de leur poids de ce liquide, et ils ont produit, après cela, 0,114 de charbon; ce qui correspond exactement aux 0,150 qu'ils donnent quand ils sont calcinés secs.

Eau d'imbibition.

Bois colorés et résineux. — On voit par les analyses (9), (10), (11), (12), (13) et (14), insérées dans le tableau précédent, que les bois colorés et les bois résineux donnent en général une proportion de charbon beaucoup plus considérable que les bois ordinaires; les deux expériences suivantes montrent qu'effectivement les diverses substances combustibles qui se trouvent dans les bois avec le ligneux, contribuent pour beaucoup à la production du charbon.

Sciure de chêne.

On s'est procuré de la sciure de rondins de chêne à brûler, coupé depuis deux ans, et dont on avait enlevé toute l'écorce. Une partie de cette sciure a été desséchée à une chaleur d'environ 60°, pendant plusieurs jours ; elle a perdu 0,140 de son poids. Une autre portion de la même sciure a été mise en digestion dans de l'eau bouillante, et lavée jusqu'à ce que la liqueur cessât de se colorer ; le résidu desséché était couleur nankin très pâle, et ne pesait plus que 0,740. Traité ensuite par l'alcool, et desséché de nouveau, son poids n'a pas changé sensiblement. La sciure brute peut donc être considérée comme contenant :

Sciure lavée et séchée.....	0,74	1,00
Matière combustible soluble dans l'eau.	0,12	
Eau hygrométrique.....	0,14	

Sous ces trois états elle a donné à l'analyse :

	Brute.	Séchée.	Lavée.
Charbon.....	0,135	0,154	0,125
Cendres.....	0,010	0,011	0,012
Matières volatiles..	0,855	0,835	0,863
	1,000	1,000	1,000

Les cendres étaient brunes et très manganésifères. Il résulte de ces données, que les matières solubles dans l'eau sont très riches en combustible, et qu'elles produisent, par la calcination, environ la moitié de leur poids de charbon. En effet, puisque la sciure lavée en donne 0,125, les 0,74 de cette sciure, qu'on peut supposer contenus dans la sciure brute, n'en donneraient que 0,0925 ; les 0,12 de matières solubles en fournissent donc, 0,0615, c'est-à-dire les deux tiers de ce qui provient de la partie ligneuse.

Sciure de sapin.

De la sciure de bois de sapin de Pontgibaud, coupé depuis deux mois (10), cœur et écorce, ayant été soumise pendant plusieurs jours à une chaleur d'environ 60°, a perdu les 0,09 de son poids. Une autre portion de la même sciure, traitée par l'eau bouillante, et desséchée,

s'est réduite à 0,756. La sciure brute peut donc être considérée comme contenant :

Sciure lavée et séchée.....	0,782	1,000
Matière combustible soluble dans l'eau.	0,128	
Eau hygrométrique.....	0,090	

Sous ces trois états elle a donné à l'analyse :

	Brute.		Séchée.		Lavée.
Charbon.....	0,183	—	0,205	—	0,185
Cendres.....	0,004	—	0,004	—	0,005
Matières volatiles..	0,813	—	0,791	—	0,810
	1,000		1,000		1,000

Les 0,782 de sciure lavée contenus dans la sciure brute ne donnant que 0,144 de charbon, il s'ensuit que les 0,128 de substances solubles en donnent 0,039, c'est-à-dire environ le quart du produit total. Ces substances sont moins productives en charbon que celles que l'eau extrait de la sciure de chêne, mais à poids égal elles le sont plus que la matière non soluble; et d'autres expériences prouvent qu'elles doivent être fort riches en hydrogène. La sciure de sapin lavée à l'eau bouillante est d'un gris-brun pâle. Lorsqu'on la fait ensuite digérer dans l'alcool, elle ne change pas d'aspect, mais elle perd environ 0,04 de matière résineuse qui colore la liqueur en jaune rougeâtre. Après cela il s'en faut de beaucoup que le résidu soit du ligneux pur. Il devient d'un rouge d'acajou par l'action des dissolutions de potasse caustique ou de l'acide muriatique, et il colore l'alcali en rouge et l'acide en jaune; mais ni l'un ni l'autre de ces réactifs ne peut le décolorer lui-même.

Hématine.

Selon M. Chevreul, l'*hématine*, substance colorante qui existe en grande proportion dans le bois de campêche, laisse 0,54 de son poids de charbon par calcination en vase clos; proportion beaucoup plus grande que celle que donne le ligneux.

Conséquences.

Ces faits expliquent pourquoi des bois d'essences diverses donnent des proportions de charbon si différentes,

et font voir en même temps quelle portion considérable de matières combustibles on peut perdre en laissant les bois dans l'eau.

Bois mort. — On admet généralement que le bois mort donne autant de charbon que le bois vif et sec.

Carbonisation opérée en grand. — On pratique en grand différens modes de carbonisation : dans les uns la chaleur nécessaire est produite par la combustion d'une partie du bois, au moyen de l'air que l'on introduit au milieu de la masse ; dans les autres la chaleur provient d'une combustion effectuée en dehors de cette masse.

Meules. Le plus usité est la carbonisation en meules ; on admet que dans ce procédé le bois donne, terme moyen, de 0,33 à 0,40 de charbon en volume, et de 0,18 à 0,20 en poids. Mais M. Marcus Bull a trouvé qu'on peut l'améliorer en remplissant l'intervalle des bûches avec du frasil, et qu'alors le produit en charbon est des trois cinquièmes du bois en volume, et des 0,22 en poids, et que ce charbon est de meilleure qualité. Dans le procédé de MM. Foucault et Lachabeaussière, qui consiste à dresser les meules dans

Fosses. des trous (voy. *Annales des Mines*), le produit est de 0,20 au moins en poids et s'élève quelquefois, dit-

Méthode de M. Schwartz. on, à 0,25. M. Schwartz, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers de Stockholm, a imaginé de chauffer le bois, enfermé dans de grandes chambres, à l'aide d'un courant d'air sortant de foyers extérieurs et épuisé d'oxigène. (*Annales des Mines*, tome XII, page 327.) On obtient ainsi 0,65 de charbon en volume, et l'on consomme dans les foyers 10 parties pour 100 du bois que l'on carbonise. Mais il paraît que ce procédé ne réussit que pour les bois résineux.

Distillation. Enfin nous avons déjà dit que le bois chauffé en grand en vase clos produit les 0,23 et quelquefois jusqu'aux 0,27 de son poids de charbon.

Remarque. Nous devons faire remarquer que le charbon préparé en grand retient une proportion très notable de substances volatiles, et que pour peu qu'on l'ait laissé quelque temps exposé à l'air, il renferme en outre une quantité

d'eau considérable. Il est essentiel d'avoir égard à ces considérations lorsque l'on compare les produits que l'on obtient en grand et ceux que donnent les expériences en petit.

Maximum de produit possible. — La carbonisation ne pouvant se faire qu'à l'aide de la chaleur, il faut toujours consommer une certaine quantité de combustible pour l'effectuer. M. Péclet a trouvé par calcul théorique, en prenant pour données la composition du bois d'un an de coupe et la caloricité des gaz et des vapeurs qui se dégagent, que le *maximum* de produit est de 0,30 de charbon; mais comme il y a en outre une perte de chaleur inévitable, il lui paraît qu'il n'est guère possible d'obtenir en grand plus de 0,25 : c'est à peu près ce que donne le procédé Foucault.

§ 4. — Incinération.

Les différens bois contiennent des proportions diverses, mais en général peu considérables, de substances fixes et incombustibles qui constituent les cendres. On dose ces cendres tantôt dans l'état où la combustion les laisse, tantôt après les avoir préalablement calcinées à une forte chaleur blanche.

Proportion des cendres. — On a trouvé dans quelques bois les quantités suivantes de cendres non calcinées :

Sapin.....	0,0083	Sureau à grappes..	0,0164
Bouleau.....	0,0100	Arbre de Judée...	0,0170
Faux ébénier.....	0,0125	Chêne (branches)..	0,0250
Noisetier.....	0,0157	Chêne (écorce)...	0,0600
Mûrier blanc.....	1,0160	Tilleul.....	0,0500
Sainte-Lucie.....	0,0160		

En dosant les cendres après calcination on a eu les résultats suivans :

Peuplier, érable, bourdenne, liége,	0,0020	Tremble.....	0,0060
		Toile de fil.....	0,090
		Coton blanc.....	0,0100
Buis.....	0,0036	Chêne (écorce)....	0,0120
Chêne écorcé, fusain, frêne, aulne, sapin, pin, noisetier, bouleau,	0,0040	Bois noir.....	0,0149
		Acajou.....	0,0160
		Ébène.....	0,0160
		Chêne (fagots)....	0,0220
		Fougères.....	0,0450
Épine.....	0,0050		

Les différentes portions d'un même arbre ne fournissent pas la même proportion de cendres ; l'écorce et les feuilles en donnent toujours beaucoup plus que les branches, les branches plus que le tronc, l'aubier moins que le bois. En général les plantes ligneuses en donnent moins que les plantes herbacées. La presque totalité des substances qui produisent les cendres sont dans le végétal à l'état de sels, solubles dans l'acide muriatique.

Composition des cendres. — Les cendres se composent de sels alcalins solubles dans l'eau et de matières insolubles. Les sels alcalins sont à base de potasse et de soude, et contiennent de l'acide carbonique, de l'acide sulfurique, de l'acide muriatique, un peu de silice, et quelquefois une trace d'acide phosphorique. Les matières insolubles renferment de l'acide carbonique, de l'acide phosphorique, de la silice, de la chaux, de la magnésie, de l'oxide de fer et de l'oxide de manganèse. La quantité d'acide carbonique n'est jamais assez grande pour saturer les alcalis, la magnésie et la totalité de la chaux, parce que la chaleur qui se développe pendant l'incinération décompose le carbonate de magnésie, et est même assez forte pour amener une partie de la chaux à l'état caustique. La proportion de chaux caustique est d'autant plus grande que l'incinération a eu lieu à une température plus élevée ; aussi les cendres qui proviennent des grands foyers de combustion, dans lesquels la chaleur est très forte, en contiennent-elles beaucoup plus que les cendres

Effets de la température.

que l'on prépare en petit, en brûlant quelques centaines de grammes de bois ou de charbon.

Nous donnons dans les deux tableaux suivans, 1°. la proportion de matières alcalines contenues dans un grand nombre de cendres telles qu'elles résultent de la combustion, et 2°. la composition de ces mêmes cendres. Comme toutes les fois que l'on fond une matière quelconque avec le contact du bois ou du charbon, les cendres jouent un certain rôle, et que ce rôle est assez important, nous avons pensé qu'il était utile de faire connaître leur nature. Résultats.

Quantités de sels alcalins contenues dans les cendres.

Chêne blanc.....	0,075	Arbre de Judée....	0,190
Oranger.....	0,096	Chêne de Pontgib..	0,200
Tilleul.....	0,108	Vigne de Nemours.	0,210
Pin.....	0,136	Hêtre de Pontgib..	0,239
Noisetier de Pontgib.	0,139	Mûrier blanc d'Aix.	0,250
Châtaignier.....	0,146	Sapin d'Allevard...	0,257
Chêne de Paris....	0,150	Bourdenne écorcé..	0,260
Mûrier bl. de Paris.	0,150	Faux ébénier.....	0,315
Bois noir de Châtill.	0,150	Sureau.....	0,350
Noiset. de Nemours.	0,154	Sapin de Norwége..	0,500
Hêtre de Paris....	0,160	Fougère.....	0,007
Bouleau.....	0,160	Pommes de terre...	0,040
Sainte-Lucie.....	0,160	Tabac.....	0,123
Sapin de Pontgib..	0,167	Bruyères.....	0,134
Charme.....	0,180	Paille de froment..	0,170
Aulne.....	0,188	Prêle.....	0,230
Mûrier de la Chine.	0,189	Tanaisie.....	0,290

		CHARME.		HÊTRE.		Bois noir.	Tilleul.
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	.....	0,247	0,224	.....	.....	0,282
	—— sulfurique..	.....	0,073	0,073	.....	.....	0,076
	—— muriatique.	.....	0,047	0,052	.....	.....	0,018
	Silice.....	.....	0,010	0,010	.....	.....	0,017
	Potasse.....	.....	0,507	0,641	.....	.....	0,607
	Soude.....	.....	0,121				
		.....	1,003	1,000	.....	.....	1,000
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq .	0,332	0,292	0,329	0,351	0,343	0,398
	—— phosphor.	0,100	0,088	0,057	0,054	0,018	0,028
	Silice.....	0,050	0,039	0,058	0,092	0,072	0,020
	Chaux.....	0,586	0,427	0,426	0,433	0,455	0,518
	Magnésie.....	0,078	0,070	0,070	0,027	0,037	0,022
	Oxide de fer....	0,016	0,001	0,015	trace.	0,008	0,001
	—— de mangan.	0,034	0,069	0,045	0,040	0,051	0,006
	Charbon, etc...	.....	0,014	.....	.....	.....	.....
		0,996	1,000	1,000	0,997	0,984	0,993
	Phosphate de ch.	0,160	0,179	0,071	0,111	0,013	0,054
	———— de fer.	0,038	0,003	0,037	.....	0,020	0,003

		CHÊNE.					Sainte-Lucie.
		(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	0,284	0,240	0,243	0,254	0,232	0,200
	—— sulfurique..	0,059	0,081	0,100	0,106	0,060	0,060
	—— muriatique.	0,040	0,001	0,005	0,020	0,007	0,100
	Silice.....	0,010	0,002	0,000	0,050	0,008	0,010
	Potasse.....	0,607	0,676	0,652	0,570	0,693	0,630
	Soude.....						
		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq..	0,301	0,396	0,244	0,331	0,385	0,340
	—— posphor..	0,070	0,008	0,070	0,011	.....	0,063
	Silice.....	0,017	0,038	0,064	0,080	0,011	0,018
	Chaux.....	0,447	0,548	0,532	0,447	0,501	0,488
	Magnésie.....	0,079	0,006	.....	0,044	0,008	0,070
	Oxide de fer....	0,001	.....	.....	0,005	.....	0,005
	—— de mangan.	0,029	.....	0,090	0,046	0,074	0,008
	Charbon, etc...	0,045	.....	.....	0,036	0,021	.....
		0,989	0,996	1,000	1,000	1,000	0,992
	Phosphate de ch.	0,139	0,018	0,145	0,008	.....	0,114
	———— de fer.	0,002	.....	.....	0,013	.....	0,013

		Sureau à grappes. (13)	Arbre de Judée. (14)	MURIER. (15)	(16)	(17)	Oranger. (18)
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	0,240	0,249	0,226	.....	0,230	0,370
	—— sulfurique.	0,064	0,031	0,080	.....	0,083	.....
	—— muriatique.	0,004	0,005	0,004	.....	0,040	0,040
	Silice.....	0,002	0,010	0,010	.....	.....	.....
	Potasse.....	0,670	0,705	0,680	.....	0,520	0,590
	Soude.....					0,115	
		0,980	1,000	1,000	.....	0,988	1,000
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq..	0,314	0,340	0,187	0,271	0,420	0,335
	—— phosphor.	0,083	0,075	0,054	0,116	0,018	0,019
	Silice.....	0,032	0,024	0,013	0,077	0,029	0,060
	Chaux.....	0,492	0,460	0,556	0,467	0,461	0,450
	Magnésie.....	0,025	0,072	0,072	0,052	0,046	0,070
	Oxide de fer.....	0,011	0,013	.....	0,003	0,005	0,010
	—— de mangan.	0,018	0,007	.....	0,005	0,013	
	Charbon, etc....	.....	.....	.....	.....	.....	0,056
		0,995	0,991	1,010	0,991	0,992	1,000
	Phosphate de ch.	0,136	0,114	0,110	0,223	0,023	0,005
	——— de fer.	0,027	0,032	.....	0,013	0,013	0,003

		NOISETIER. (19)	(20)	Chêne blanc. (21)	Chêne vert. (22)	Bouleau. (23)	Faux ébénier. (24)
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	0,202	.....	.....	.....	0,170	.....
	—— sulfurique.	0,051	.....	.....	.....	0,023	0,080
	—— muriatique.	0,005	.....	.....	.....	0,002	0,020
	Silice.....	0,005	.....	.....	.....	0,010	0,017
	Potasse.....	0,737	.....	.....	.....	0,795	.....
	Soude.....						
		1,000	.....	.....	.....	1,000	.....
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq..	0,370	0,376	0,414	0,359	0,310	0,190
	—— phosphor.	0,048	0,055	0,030	0,028	0,043	0,184
	Silice.....	0,042	0,053	0,033	0,051	0,055	0,080
	Chaux.....	0,424	0,508	0,503	0,484	0,522	0,456
	Magnésie.....	0,044	.....	0,010	0,024	0,030	0,090
	Oxide de fer....	0,040	0,020	0,010	0,048	0,005	.....
	—— de mangan.	.....	0,049	.....	.....	0,035	.....
	Charbon, etc...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		0,968	0,991	1,000	0,994	1,000	1,000
	Phosphate de ch.	.....	0,150	0,031	.....	0,073	0,374
	——— de fer.	0,080	0,050	0,025	0,046	0,013	.....

		Châtaignier.	AULNE.		SAPIN.		
		(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	0,188	.....	0,152	0,302	0,135	0,228
	—— sulfurique.	0,087	0,066	0,210	0,031	0,069	0,100
	—— muriatique.	0,005	0,007	0,009	0,003	.....	0,016
	Silice.....	0,027	.....	0,003	0,010	0,020	0,005
	Potasse.....	0,693	.....	0,620	0,654	0,282	0,641
	Soude.....					0,415	
		1,000	.....	1,000	1,000	1,000	1,000
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq..	0,305	0,310	0,280	0,230	0,215	0,358
	—— phosphor.	0,019	0,077	0,110	0,042	0,018	0,044
	Silice.....	0,085	0,050	0,033	0,080	0,130	0,033
	Chaux.....	0,511	0,502	0,508	0,398	0,272	0,495
	Magnésie.....	0,038	0,025	.....	0,044	0,087	.....
	Oxide de fer....	0,035	0,036	0,020	0,141	0,223	.....
	—— de mangan.	.....	.....	0,049	0,060	0,055	0,070
	Charbon, etc...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		0,993	1,000	1,000	0,995	1,000	1,000
	Phosphate de ch.	.....	0,035	0,150	.....	.....	0,090
	———— de fer.	0,030	0,090	0,050	0,063	0,030	.....

		PIN.		SARMENT de vigne.			
		(31)	(32)	(33)	(34)		
SELS ALCALINS.	Acide carboniq..	0,208	0,300	0,258	0,258		
	—— sulfurique.	0,120	0,025	0,070	0,080		
	—— muriatique.	0,067	0,002	0,015	0,007		
	Silice.....	0,014	.....	.....	.....		
	Potasse.....	0,317	0,673	0,657	0,657		
	Soude.....	0,254					
		0,980	1,000	1,000	1,000		
MATIÈRES INSOLUBLES.	Acide carboniq..	0,360	0,360	0,330	0,352		
	—— phosphor.	0,010	0,050	0,078	0,432		
	Silice.....	0,046	0,056	0,115	0,076		
	Chaux.....	0,423	0,450	0,455	0,418		
	Magnésie.....	0,105	0,045	0,022	0,012		
	Oxide de fer....	0,001	0,014	trace.	0,010		
	—— de mangan.	0,004	0,025	.....	.....		
	Charbon, etc...	0,048	.....	.....	.....		
		0,997	1,000	1,000	1,000		
	Phosphate de ch.	0,018	0,075	0,170	0,252		
	———— de fer.	0,002	0,029	.....	0,020		

(1) *Charme* provenant d'un bois taillis, du département de la Nièvre, et récolté dans un sol argileux et sableux rempli de minerai de fer. Charme.

(2) *Charme* du département de la Somme. La cendre est jaunâtre.

(3) *Hêtre* du département de la Somme. La cendre est couleur sciure de bois. Un litre de cette cendre non tassée pèse 530 grammes. Hêtre.

(4) *Bois de hêtre* de Pontgibaud (Puy-de-Dôme). Les cendres sont de couleur blonde.

(5) Bois des environs de Châtillon, qui porte dans le pays le nom de *bois noir*, en menues branches et en fagots, récolté dans un terrain très argileux. Bois noir.

(6) *Branches de tilleul* de moyenne grosseur, récoltées à Nemours dans un sol sablonneux et un peu calcaire. Les cendres sont blanches. Tilleul.

(7) *Chêne* du département de la Somme. La cendre est jaunâtre. Chêne.

(8) *Chêne* en rondins de la Roque-lès-Arcs, département du Lot, récolté dans un terrain calcaire. La cendre est blanche. Sa densité est telle, qu'étant mesurée sans être tassée, un litre pèse 680 grammes; qu'étant tassée par secousses, le même volume pèse 750 grammes, et qu'étant fortement comprimée avec la main, le litre pèse 910 grammes.

(9) *Chêne* en menues branches et en fagots de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), brûlé sur la grille des fours à réverbère de l'usine à plomb. La cendre est brune et ne contient que 0,10 de substances alcalines, probablement parce qu'une partie de ces substances est volatilisée par la grande chaleur du foyer.

(10) *Chêne* en menues branches et en fagots des environs de Châtillon (Loiret), récolté dans un sol siliceux et argileux, et froid.

(11) *Écorce de chêne* récoltée dans le département de l'Allier, et telle qu'on l'emploie dans les tanneries de Nemours (Seine-et-Marne). La cendre est brune; elle est remarquable par sa pauvreté en sels alcalins,

par la grande quantité de manganèse qu'elle contient, et en ce qu'elle ne renferme pas la plus petite trace d'acide phosphorique. L'écorce qui a servi au tannage (*le tan*) donne des cendres qui ne renferment que 0,016 de sels alcalins; aussi ne l'emploie-t-on jamais dans les lessives. Pendant la macération du tannage l'eau enlève à l'écorce plus de la moitié des substances alcalines qu'elle renferme.

Sainte-Lucie. (12) *Branches de bois de Sainte-Lucie*, de moyenne grosseur, de Nemours. La cendre est blanche.

Sureau. (13) *Branchages de sureau à grappes*, de Nemours. La cendre est grisâtre.

Arbre de Judée. (14) *Branches d'arbre de Judée*, de grosseur moyenne, de Nemours. La cendre est blanche.

Mûriers. (15) *Branches de mûrier de la Chine*, de grosseur moyenne, de Nemours. La cendre est blanche.

(16) *Branches de mûrier blanc*, de grosseur moyenne, de Nemours. La cendre est blanche.

(17) *Mûrier blanc* des environs d'Aix, département des Bouches-du-Rhône, récolté dans un sol calcaire et argileux très fécond.

Oranger. (18) *Oranger* crû en pleine terre dans le département des Bouches-du-Rhône. La cendre est d'un blanc légèrement grisâtre.

Noisetier. (19) *Branchages de noisetier* de Nemours. La cendre est blanche.

(20) *Bois de noisetier* de Pontgibaud (Puy-de-Dôme). La cendre est blanche.

Chêne. (21) *Chêne blanc* du département des Bouches-du-Rhône. La cendre est blanche et très légère.

(22) *Chêne vert* des Bouches-du-Rhône.

Bouleau. (23) *Branchages de bouleau* de la forêt d'Orléans, dont le sol est argilo-sablonneux et rempli de cailloux. La cendre est couleur de tabac clair.

Faux ébénier. (24) *Branchages de faux ébénier* provenant du jardin du Luxembourg, à Paris. La cendre est blanche, et remarquable par la grande proportion d'acide phosphorique qu'elle contient : cette proportion s'élève jusqu'à 0,230 dans les cendres du faux ébénier de Nemours.

(25) *Châtaignier* provenant d'un taillis des environs d'Allevard, département de l'Isère, cultivé dans un sol de grauwacke et de calcaire de transition. Châtaignier.

(26) *Aulne* des environs d'Allevard, provenant d'un taillis âgé de douze à quinze ans. La cendre est jaunâtre. Aulne.

(27) *Aulne* de Pontgibaud, en rondins pour charbonnage, récolté dans un sol sablonneux.

(28) *Charbon de sapin* d'Allevard, provenant de bois âgés de quarante à cinquante ans. Les cendres étaient brunes. Sapin.

(29) *Sapin* de Pontgibaud, en branchages propres à être carbonisés, récolté dans un sol rocailleux.

(30) *Sapin* de Norwége débité en planches. Pendant la combustion, les cendres se ramollissent et s'agglomèrent; elles se distinguent de toutes les autres par la grande quantité de sels alcalins et d'oxides métalliques qu'elles contiennent. Il y a dans ces sels 0,079 d'eau combinée à l'alcali, dont il n'a pas été fait mention dans l'analyse. Il est remarquable aussi qu'elles renferment beaucoup plus de soude que de potasse : on pourrait les exploiter comme soudes naturelles, et ces soudes seraient comparables à celles qui viennent d'Espagne. La silice se trouve en plus grande quantité dans la cendre de sapin de Norwége que dans toutes les autres; mais il s'en faut de beaucoup cependant qu'elle en soit la substance dominante, comme quelques naturalistes l'avaient supposé.

(31) *Pin* du département des Basses-Alpes. La cendre est d'un blanc grisâtre. Pin.

(32) *Branchages de pin* de Niederbrunn (Bas-Rhin). La cendre est d'un brun peu foncé; on n'y a pas recherché la soude.

(33) *Sarment de vigne* de Nemours, récolté dans un champ très sablonneux et un peu calcaire. Après six mois de coupe, ce sarment avait perdu le cinquième de son poids, et dans cet état de dessiccation il a produit 0,035 de cendres blanches. Vigne.

(34) *Sarment de vigne* de Puiseaux (Loiret), récolté dans un sol argileux fertile reposant sur un calcaire d'eau

douce. Après six mois de coupe il a perdu le quart de son poids, et dans cet état de dessiccation il a produit 0,042 de cendres blanches.

Absence de l'alumine. Une première remarque que doit suggérer l'ensemble des analyses qui viennent d'être exposées, c'est qu'aucun ne présente d'alumine, quoique cette terre existe dans tous les sols cultivables, et souvent en proportion très considérable. Si l'on en trouve quelquefois des traces dans les cendres, cela provient évidemment d'une petite quantité d'argile qui peut rester adhérente aux racines des plantes. L'absence de l'alumine tient probablement à ce que cette terre est insoluble dans l'eau, et à ce qu'elle n'a que des affinités très faibles qui ne lui permettent pas de se combiner aux acides végétaux en présence de bases fortes, telles que la chaux, la magnésie et les protoxides de fer et de manganèse.

Silice. La silice est rarement en grande quantité dans la cendre des bois, mais elle se trouve au contraire en proportion très considérable dans la cendre de beaucoup de plantes, et notamment des plantes de la famille des graminées.

Les analyses suivantes en présentent quelques exemples :

	Fougère. (1)	Paille. (2)	Prêle. (3)	Bruyère. (4)	Tanaisie. (5)
Sulfate de potasse.....	0,007	0,004	0,120	0,050	0,033
Muriate de potasse.....	trace.	0,032	0,114	0,012	0,090
Carbonate de potasse.....	.....	trace.	....	0,068	0,167
Potasse combinée à la silice.	.....	0,130	.....	.....	.....
Silice.....	0,730	0,715	0,508	0,375	0,165
Carbonate de chaux.....	0,248	0,096	0,062	0,280	0,434
Sulfate de chaux.....	.....	.....	0,144	.....	.....
Phosphate de chaux.....	0,010	0,023	0,022	0,130	0,100
Magnésie.....	0,005	.....	0,030	0,010	0,002
Oxide de fer.....	.....	.....	.....	0,014	0,007
Oxide de manganèse.....	.....	.....	.....	0,061	0,002
	1,000	1,000	1,000	11,000	1,000

Fougère. (1) *Fougère* récoltée dans les sables quarzeux des environs de Nemours, à une époque où elle était tout-à-

fait desséchée ; elle donne 0,045 à 0,050 de cendres blanches très légères.

(2) *Paille de froment* récoltée dans une terre forte et calcaire, à Puiselet, près de Nemours, et dont on avait enlevé les épis ; elle donne 0,44 de cendres frittées. Paille.

(3) *Prêle* (*equisetum fluviatile*) analysée par M. Braconnot ; elle donne 0,236 de cendres. Prêle.

(4) *Bruyère* récoltée dans les sables quarzeux des environs de Nemours. Après six mois de coupe elle a perdu les 0,37 de son poids ; ainsi desséchée, elle donne au moins 0,018 de cendres légères. Bruyère.

(5) *Tanaisie* récoltée dans un jardin de Nemours dont le sol est sablonneux. Ses cendres sont blanches et fort riches en alcalis. Tanaisie.

Davy a trouvé dans l'écorce externe du *jonc* des Indes 0,900 de silice, dans celle du *bambou* 0,170, dans celle du *rotin* 0,481, et dans le chaume des *céréales* communes 0,05. Jonc.

Si l'on compare entre elles les cendres de bois de même espèce, crûs dans des terrains qui ne sont pas de même nature, on voit qu'elles peuvent différer assez notablement ; ce qui prouve que le sol a de l'influence sur leur composition. La cendre du chêne du *canton* de la Roque-lès-Arcs (8) n'est presque que du carbonate de chaux, tandis que celle du chêne de la Somme (5) contient beaucoup de magnésie et de phosphate de chaux. La cendre de mûrier blanc des Bouches-du-Rhône (17) contient à peine de l'acide phosphorique ; tandis que celle du mûrier blanc de Nemours (16) en renferme au moins 0,10, etc.

Si l'on examine, au contraire, les cendres d'arbres crûs dans le même terrain (12), (13), (14), (15), (16), (19), (24), on trouve que, quand les espèces ont de l'analogie, les cendres ont beaucoup de rapport entre elles ; mais que quand les arbres sont d'un genre très différent, les cendres sont aussi très différentes (6), (12), (24), d'où il faut conclure que les plantes choisissent dans le sol les substances qui leur sont le plus propres.

§ 5. — Combustion.

Flamme. — Le bois brûle avec une flamme jaunâtre accompagnée de plus ou moins de fumée, et en laissant un résidu de charbon incandescent. La flamme est le résultat de la combustion, dans l'air, des parties volatiles du bois. La fumée provient d'une combustion imparfaite; elle est d'autant plus abondante que le bois est plus humide, que la température de la masse embrasée est plus basse, et que le tirage est moins actif. L'eau contenue dans le bois se réduit en vapeurs pendant la combustion, absorbe de la chaleur; et elle se mêle avec l'air, qu'elle raréfie, et avec les gaz, qu'elle refroidit, et elle met par là obstacle à la combinaison de ceux-ci avec l'oxigène.

Fumée.

Production d'une grande flamme.

On a vu que plus la distillation est rapide, plus la température à laquelle elle s'effectue est élevée, et plus elle produit de gaz combustible; d'ailleurs, il est évident que les morceaux de bois s'échauffent d'autant plus vite jusqu'à leur centre, qu'ils sont plus minces. Il suit de là que pour obtenir la plus grande flamme possible avec du bois, il faut le fendre en bûches menues, le dessécher complètement, le brûler en grandes masses, et alimenter le foyer en le chargeant fréquemment et à petites doses. Il est essentiel en outre d'établir un fort tirage, afin que les gaz se trouvent toujours mêlés avec une quantité d'air plus que suffisante pour en opérer la combustion.

Les bois compactes ne brûlent qu'à la surface, la chaleur qui se propage dans leur intérieur en dégage promptement toutes les substances volatiles combustibles, et il ne reste bientôt plus qu'un charbon volumineux et compacte qui se consume sans produire de flamme. Les bois légers brûlent avec beaucoup plus de rapidité, parce que leur porosité permet à l'air d'y pénétrer plus facilement, et qu'ils se fendillent par l'action de la chaleur. De là vient qu'ils donnent de la flamme presque pendant tout le temps que dure leur combustion, et qu'ils ne laissent presque pas de charbon.

Oxigène consommé. — Dans les foyers très chauds

et à tirage rapide, les deux tiers à peu près de l'air sont consommés ; mais on admet que dans les cas les plus ordinaires il n'y en a que la moitié qui serve à la combustion, quelquefois même il n'y en a que le tiers.

La combustion complète de 1^k de ligneux pur et sec consomme $1^k,377$ d'oxigène, ou 963 litres à zéro, et $5^k,96$ d'air atmosphérique, ou 4585 litres à zéro.

Suie et noir de fumée. — Lorsque le bois brûle d'une manière incomplète, la fumée dépose sur les corps froids une matière noire que l'on appelle *suie* et *noir de fumée*. Il y a deux espèces de suie, l'une fondue en masse brillante par la chaleur du foyer, l'autre pulvérulente, qui se dépose à une plus grande distance. Le noir de fumée est une espèce de suie dont la carbonisation est plus avancée que dans la suie ordinaire. M. Braconnot a examiné les propriétés et fait connaître la composition de la suie pulvérulente et du noir de fumée.

La *suie* donne à la distillation un liquide aqueux brun qui contient de l'huile empyreumatique, du carbonate et de l'acétate d'ammoniaque : après cela il s'en dégage environ un cinquième de son poids d'une huile empyreumatique épaisse, d'un brun très foncé ; et enfin il se sublime une petite quantité de carbonate d'ammoniaque. Chauffée dans un creuset ouvert, la suie éprouve une fusion pâteuse, se boursoufle, brûle avec beaucoup de flamme, et laisse un charbon qui, exposé à l'air humide, répand une odeur fortement ammoniacale. Lorsqu'on fait bouillir la suie avec de l'eau, elle se ramollit et devient d'un brun foncé, et la liqueur, qui est brune, contient des sels, de l'ulmine et une matière animalisée. L'analyse donne : Suie.

Matière animalisée insoluble dans l'alcool..	0,2000
Ulmine.....	0,3020
Principe âcre et amer.....	0,0050
Eau.....	0,1250
Matière carbonacée insoluble dans les alcalis.	0,0385
Acétate de potasse.....	0,0410
Acétate d'ammoniaque...	0,0020
Acétate de chaux.....	0,0565
Acétate de magnésie.....	0,0053
Acétate de fer.....	trace.
Muriate de potasse.....	0,0036
Sulfate de chaux.....	0,0500
Phosphate de chaux ferrugineux.....	0,0150
Carbonate de chaux.....	0,1466
Silice.	0,0095
	1,0000

Noir de fumée.

Le *noir de fumée* chauffé au rouge dans un creuset, brûle avec flamme, et laisse un charbon qui répand jusqu'à la fin de son incinération une odeur pénétrante d'acide sulfureux. L'eau n'enlève au noir de fumée que quelques substances salines ; l'essence de térébenthine en sépare 0,07 d'un mélange d'asphalte et d'une résine soluble dans l'éther et dans l'acide sulfurique concentré, mais insoluble dans l'alcool.

L'analyse a donné à M. Braconnot :

Carbone.....	0,791
Eau.....	0,080
Résine.....	0,053
Asphalte ou bitume de Judée.....	0,017
Ulmine.....	0,005
Sulfate de potasse.....	0,004
Sulfate d'ammoniaque.....	0,033
Sulfate de chaux.....	0,008
Muriate de potasse.....	trace.
Phosphate de chaux très ferrugineux.	0,003
Sable quarzeux.....	0,006
	1,000

ARTICLE III. — *Pouvoir calorifique.*

Résultats de Rumfort. — Rumfort a recherché, au moyen de son calorimètre, le pouvoir calorifique de plusieurs bois dans des états différens de dessiccation. Voici les résultats qu'il a obtenus, exprimés en unités calorifiques ou calories.

Tilleul, bois sec de menuiserie, de quatre ans...	3460
Id., fortement desséché dans un poêle.....	3960
Peuplier, bois sec de menuiserie.....	3460
Hêtre, bois de menuiserie, de quatre ans.....	3375
Id., fortement desséché dans un poêle.....	3630
Merisier, bois sec de menuiserie.....	3375
Chêne, bois sec.....	3300
Id., bois à brûler ordinaire en copeaux.....	2550
Id., bois desséché à l'air.....	2925
Charme, bois sec de menuiserie.....	3187
Frêne, bois de menuiserie ordinaire.....	3075
Id., fortement desséché dans un poêle.....	3525
Orme, bois sec de menuiserie, de quatre ans....	3087
Id., fortement desséché dans un poêle.....	3450
Sapin, bois sec de menuiserie, ordinaire.....	3037
Id., bien séché à l'air.....	3375
Id., fortement desséché dans un poêle.....	3750
Érable, fortement desséché sur un poêle.....	3600
Cormier, fortement séché sur un poêle.....	3600

Résultats de Marcus Bull. — M. Marcus Bull a trouvé que pour le grand nombre de bois qu'il a essayés par sa méthode, le pouvoir calorifique est peu différent, et ne varie que dans le rapport de soixante à soixante-quatre tout au plus. On admet généralement que, terme moyen, le pouvoir calorifique du bois parfaitement desséché par des procédés artificiels est équivalent à 3500 unités, et celui des bois d'une année de coupe, contenant 0,20 à 0,25 d'eau, à 2600 unités.

Résultats obtenus avec la litharge. — Quelques essais que nous avons faits avec la litharge nous ont donné des résultats en général un peu plus considérables. Nous avons obtenu, pour

Le coton blanc.....	11,7 de plomb	= 2791 calor.
Le fil blanc.....	12,5	= 2875
Le chêne et le charme secs.	12,5	= 2875
Id., fortement séchés.	14,0	= 3220
Id., lavés et séchés...	12,8	= 2944
L'érable.....	13,1	= 3013
Le bourdenne écorcé.....	13,3	= 3059
L'aulne et le hêtre.....	13,7	= 3151
Le noisetier.....	13,7	= 3151
Le pin de Niederbrunn...	13,7	= 3151
Le bouleau.....	14,0	= 3220
Le sapin de Pontgibaud..	14,5	= 3335
Le lilas vert.....	9,0	= 2070
Id., desséché.....	14,7	= 3381
L'acajou.....	14,4	= 3312
L'ébène.....	14,9	= 3427
Le liége.....	19,7	= 4531

On peut, d'après cela, calculer la quantité de charbon à laquelle chacun de ces bois équivaut : on trouve que cette quantité est, terme moyen, de 0,40, et varie entre 0,37 et 0,44. Le liége est beaucoup plus riche et équivaut à plus des 0,58 de son poids de charbon. Le sapin bien desséché à la température de l'ébullition est équivalant aux 0,48 de son poids de charbon. Après qu'il a été lavé et desséché de nouveau il n'est pas plus riche en combustible que dans son état naturel.

Influence de la dessiccation. — En chauffant comparativement avec de la litharge des bois à différens états de dessiccation, ou ayant éprouvé différens degrés de calcination, ou même ayant été tout-à-fait charbonnés, il est aisé d'évaluer soit l'augmentation de pouvoir calorifique qu'ils acquièrent en abandonnant de l'eau, soit au contraire la proportion de matières combustibles que la chaleur leur enlève. De la sciure de chêne et de charme donnant 13,1 de plomb avec la litharge, et équivalant par conséquent à 0,40 de charbon pur, ayant été, 1°. desséchée pendant plusieurs jours à la chaleur de 60°, de manière à se réduire à 0,86; 2°. chauffée dans une cornue de verre jusqu'à ce qu'elle ait pris l'aspect du

Expériences.

café brûlé, et se soit réduite à 0,26; 3°. chauffée dans une cornue jusqu'à ce qu'elle se soit réduite à 0,24; 4°. chauffée dans une cornue jusqu'à ce qu'elle se soit réduite à 0,225; 5°. chauffée dans une cornue jusqu'à ce qu'elle se soit réduite à 0,165; 6°. enfin, calcinée dans un creuset couvert, et laissant 0,145 de charbon contenant 0,010 de cendres, a produit avec la litharge :

1°	—	14,0 de plomb.
2	—	19,1
3	—	23,8
4	—	25,2
5	—	29,4
6	—	31,0

Conséquences.

Il suit de là, 1°. que le pouvoir calorifique du résidu de la distillation du bois s'accroît progressivement à mesure que la distillation avance, mais est toujours inférieur à celui du charbon; 2°. que par la dessiccation à une température voisine de 100° le bois n'abandonne que de l'eau; et 3°. que lorsqu'on le chauffe pendant un temps plus ou moins long, à une chaleur capable de le décomposer, il perd une certaine proportion de matière combustible, dont le pouvoir calorifique équivaut environ aux 0,47 de celui du bois intact dans la deuxième expérience, aux 0,56 dans la troisième, aux 0,59 dans la quatrième, aux 0,62 dans la cinquième, et aux deux tiers dans le cas de complète carbonisation opérée par une calcination brusque. Dans la carbonisation en grand il ne se perd que la moitié tout au plus de la matière combustible que renferme le bois.

Ébène.

Le bois d'ébène présente un résultat tout particulier : il produit 14,9 de plomb avec la litharge, et par la calcination il laisse 0,32 de charbon, qui peuvent donner 10,4 de plomb; les matières volatiles n'en donnent donc que 4,5 : leur pouvoir calorifique est donc à peine égal au tiers de celui du bois. Un mélange de bois ordinaire et d'un quart environ de son poids de charbon offrirait à peu près le même résultat : la couleur de l'ébène, le peu de retrait qu'il éprouve par la calcination, etc.,

portent à croire qu'en effet ce bois contient, outre le ligneux, environ un cinquième de substance purement charbonneuse.

Maximum du pouvoir calorifique. — Comme la vapeur d'eau qui se dégage du bois absorbe une certaine quantité de calorique, il est évident que pour tirer le meilleur parti possible de ce combustible, à l'effet d'échauffer d'autres corps, il faut le dessécher aussi complètement que cela se peut, sans l'altérer. A poids égaux, il ne pourrait dans aucun cas donner autant de chaleur que le charbon, mais peut-être qu'en le calcinant incomplètement, et jusqu'à un certain point, par exemple de telle sorte que le résidu retînt 0,12 à 0,15 de substances volatiles, on obtiendrait un combustible qui serait plus dense que le charbon, et qui à volume égal produirait autant de chaleur; condition que doit remplir un combustible destiné à donner le plus haut degré de température possible : comme le retrait qu'éprouve le bois décroît progressivement pendant la durée de la calcination, surtout quand on l'opère lentement, cela ne paraît pas invraisemblable. Jusqu'ici on n'a fait aucunes recherches à ce sujet : ces recherches auraient cependant de l'importance, puisqu'il pourrait en résulter un moyen de faire une économie notable dans la consommation du bois de charbonnage.

Température thermométrique des gaz de la combustion. — M. l'ingénieur Petot a calculé, d'après les données théoriques, et en supposant que toute la chaleur développée par la combustion du bois passe dans les gaz, 1°. que la combustion du ligneux pur et sec doit donner à ces gaz une température de 1683° centigrades, en supposant que tout l'oxigène de l'air soit consommé, et une température de 960° seulement quand l'oxigène n'est qu'à demi consommé, ce qui est le cas le plus ordinaire dans les grands foyers; 2°. que la combustion du bois ordinaire d'un an de coupe, et retenant 0,20 d'eau, doit donner une température de 1534° et 909°, selon que l'oxigène est en totalité ou à moitié absorbé, et

3°. que le bois vert, contenant 0,40 d'eau, doit donner une température de 1337° dans le cas de l'absorption complète de l'oxigène, et de 821° dans le cas où il ne serait absorbé qu'à moitié. Pour avoir un terme de comparaison avec les gaz combustibles, il a cherché quelles seraient les températures produites par l'hydrogène, l'hydrogène protocarboné et l'hydrogène percarboné, en supposant que tout l'oxigène de l'air soit employé à la combustion, et il a trouvé pour l'hydrogène 1458°, pour l'hydrogène protocarboné 1705°, et pour l'hydrogène percarboné 1810°.

Quoique, de quelque manière que la combustion s'effectue, la quantité totale de chaleur qui se dégage soit toujours la même, on voit néanmoins que, comme l'effet calorifique utile croît toujours avec la température des gaz, il est très important de faire en sorte de dépenser le moins d'air possible : l'expérience a prouvé qu'on n'y parvient qu'en déterminant un grand tirage très actif à travers la masse en combustion ; alors il arrive que le tiers et même la moitié de l'oxigène de l'air se consomme dans la combustion.

Combustion incomplète. — Dans tout ce qui précède nous avons supposé que la combustion du bois était complète, c'est-à-dire qu'elle ne produisait que de l'eau et de l'acide carbonique. En grand il en est rarement ainsi : les gaz qui se dégagent contiennent des vapeurs huileuses et acides, de l'oxide de carbone, etc. : dans ce cas la chaleur totale développée n'est pas telle que nous l'avons donnée; mais elle est proportionnelle à la quantité d'oxigène absorbé.

Pouvoir calorifique du bois ordinaire. — Le bon bois ordinaire à brûler serait théoriquement capable de vaporiser 4 $\frac{1}{2}$ à 5 parties d'eau à zéro; mais en raison de son incomplète combustion et de toutes les pertes de chaleur qui sont inévitables, il ne peut dans la pratique, par exemple dans les salines, vaporiser que 2 $\frac{1}{2}$ à 3, et tout au plus 3 $\frac{1}{2}$ parties d'eau à la température atmosphérique.

Rayonnement. — M. Péclet a constaté par l'expérience, que le pouvoir rayonnant du bois en combustion est variable pour les différentes espèces; et que pour un même bois, il est d'autant plus grand que la combustion a lieu en plus grande masse, parce que le pouvoir rayonnant du charbon est beaucoup plus grand que celui des flammes; mais il a reconnu que le pouvoir rayonnant est à peu près constant pour les différens bois brûlés en morceaux très minces, et qu'il est tel, que la chaleur dispersée est égale au tiers de celle qui est entraînée par les gaz provenant de la combustion, ou au quart de la chaleur totale.

SECTION III.

Du charbon de bois.

ARTICLE PREMIER. — *Propriétés physiques.*

Le charbon de bois conserve la forme et la structure du morceau qui l'a produit, mais son volume est moindre. Il est en général d'un noir brillant, opaque, poreux, fragile, et assez dur dans ses dernières particules pour que sa poudre puisse servir à polir beaucoup de corps. Sa capacité pour le calorique n'est que de 0,26, celle de l'eau étant prise pour unité. Ses propriétés varient un peu selon qu'il a été plus ou moins calciné. D'après les expériences de Priestley et de M. Chevreuse, le charbon fortement calciné est conducteur de l'électricité et de la chaleur, et d'autant plus qu'il a été plus fortement chauffé, mais en même temps il devient de moins en moins combustible; il est plus dense que le charbon peu chauffé, plus avide d'eau, et moins capable de décomposer ce liquide. Le charbon qui n'a été que faiblement calciné ne conduit ni l'électricité ni le calorique : il est très combustible, plus léger et moins hygrométrique, et plus capable de décomposer l'eau et l'acide carbonique que le charbon fortement chauffé.

Condensation des vapeurs et des gaz. — Le charbon végétal a en général la propriété d'absorber et de con-

denser dans ses pores une quantité considérable de substances gazeuses et de vapeurs. D'après Saussure, le charbon de buis récemment calciné absorbe les volumes suivans de différens gaz, en prenant son propre volume pour unité. Résultats.

Ammoniaque.....	90	Deutoxide d'azote..	38
Acide muriatique.....	85	Acide carbonique..	9,4
Acide sulfureux.....	65	Oxigène.....	9,3
Hydrogène sulfuré. ...	53	Azote.....	7,5
Protoxide d'azote.....	40	Hydrogène..... ..	1,75

Toute absorption cesse au bout de vingt-quatre à trente-six heures : l'humidité la rend beaucoup moins considérable. Pour que l'absorption atteigne son *maximum* il faut que les pores du charbon aient une certaine grandeur moyenne. La proportion absorbée d'un même gaz varie, et, toutes choses égales d'ailleurs, elle est d'autant plus grande que la température est plus basse, et que la pression est plus forte. La totalité des gaz absorbés est expulsée par une chaleur de 100 à 150°.

Condensation de la vapeur d'eau. — Le charbon calciné absorbe une proportion encore plus grande de vapeur d'eau que des substances précédentes. Il en prend, au bout d'un certain temps, 0,10 de son poids, et même, dit-on, jusqu'à 0,20 si l'air est très humide. Quand on chauffe graduellement du charbon saturé de vapeur d'eau, il abandonne cette eau sans éprouver d'altération ; mais lorsqu'on le chauffe très brusquement, le liquide est en partie décomposé, et il se dégage de l'acide carbonique, de l'oxide de carbone et de l'hydrogène carboné, et presque toujours ces gaz sont mélangés d'azote.

Densité. — La densité du charbon en poudre est à peu près double de celle de l'eau. Rumfort ne l'évalue cependant qu'à 1,50°; mais le charbon en morceaux, et supposé enfermé dans une enveloppe imperméable aux liquides, a une densité beaucoup moindre, et variable selon l'essence du bois, selon que la carbonisation a été plus ou moins rapide, et selon la quantité de vapeur d'eau ou même d'eau liquide dont il peut être pénétré. M. Mar- Résultats de M. Marcus Bull.

cus Bull a déterminé la densité d'un grand nombre d'espèces de charbons dans l'état où ils se trouvent dans les magasins des marchands. Voici les nombres principaux qu'il a obtenus.

Noyer à écorce écailleuse.....	625
Chêne blanc, châtaignier.....	481
Frêne d'Amérique.....	547
Hêtre des bois.....	518
Charme.....	455
Pommier sauvage.....	445
Sassafras.....	427
Cerisier de Virginie.....	411
Orme d'Amérique.....	357
Cèdre de Virginie.....	238
Pin jaune.....	333
Bouleau à feuilles de peuplier..	364
Châtaignier d'Amérique.....	379
Peuplier d'Italie.....	245

Pour calculer, à l'aide de ces densités, le poids d'une mesure de charbon donnée, on peut, comme pour le bois, supposer que dans la manière la plus ordinaire d'emplir la mesure, il y a cinquante-six de plein pour quarante-quatre de vide.

Dernières pratiques.

Poids du charbon mesuré. — On admet généralement que le mètre cube de charbon de bois dur, tel qu'il se trouve dans le commerce, pèse 200 à 240 kilogrammes (14 à 16 livres le pied cube). — A Baigory, dans les Pyrénées, il pèse 185 kilogrammes le mètre cube (13 $\frac{2}{3}$ livres le pied cube). — A Framont (Vosges), le charbon de hêtre et de chêne pèse 213 kilogrammes le mètre cube (15 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube). — A Allevard (Isère), le charbon provenant du mélange d'un tiers de bois dur et de deux tiers de sapin, pèse 150 kilogrammes le mètre cube (11 livres le pied cube). — Le charbon de pin sylvestre de Sibérie pèse 157 kilogrammes le mètre cube (11 $\frac{1}{2}$ livres le pied cube). — Dans la Fichtelgebirge, en Bavière, on évalue le poids du charbon de pin à 141 kilogrammes, et celui du charbon de sapin à

125 kilogrammes le stère; la densité du premier est de 257, et celle du second de 237. — A Epiere, en Savoie, on a trouvé que le charbon provenant d'un mélange de bois dur et de bois résineux, pèse 180 kilogrammes le mètre cube (13 livres le pied cube), lorsqu'il est très sec, et 260 kilogrammes le mètre cube (19 livres le pied cube), quand il a atteint le *maximum* d'humidité. — Le charbon de bois dur de Picardie, amené à Paris par voitures et mesuré sur le marché, pèse 180 kilogrammes le mètre cube (13 livres le pied cube), quand il est gros, mélangé de moyen et de menu. — Le charbon du département de l'Yonne, pris sur les bateaux à Paris, est humide et pèse 250 kilogrammes le mètre cube (18 livres le pied cube). — Le charbon fait à Choisy, par distillation dans des cylindres de fer, pèse seulement 160 à 175 kilogrammes le mètre cube ($11\frac{1}{8}$ livres à $12\frac{3}{4}$ livres le pied cube): un neuvième de moins que le charbon de Picardie. — M. Fournet ayant pesé, encore chaud, du charbon qu'il a fait faire à Pontgibaud avec différentes essences de bois, a trouvé pour le charbon de chêne et de hêtre, 200 à 210 kilogrammes le mètre cube ($14\frac{1}{2}$ à 15 livres le pied cube). — Pour le noisetier, 190 kilogrammes le mètre cube (14 livres le pied cube). — Pour le bouleau, 185 kilogrammes le mètre cube (13 livres le pied cube). — Pour le sapin, 175 kilogrammes le mètre cube ($12\frac{3}{4}$ livres le pied cube). — Et pour l'aulne, 160 kilogammes le mètre cube ($11\frac{1}{8}$ livres le pied cube). — M. Robin ayant pesé, comme M. Fournet, le charbon tout chaud qu'il a fait préparer à Niederbrunn (Bas-Rhin), a trouvé, pour le hêtre, 230 kilogrammes le mètre cube (ou $15\frac{1}{3}$ livres le pied cube). — Pour le chêne, 200 kilogrammes le mètre cube (ou $13\frac{1}{3}$ le pied cube). — Pour le pin en branches refendues, 160 kilogrammes le mètre cube (ou $10\frac{2}{3}$ livres le pied cube). — Et pour le pin en branchages, 177 kilogrammes le mètre cube (ou près de 12 livres le pied cube).

Charbon anhydre.

Charbon en poudre. — Le charbon trituré dans des tonneaux avec des gobilles de cuivre, pour la fabrication

de la poudre, a l'apparence d'un liquide onctueux et occupe un espace trois fois plus petit que le charbon en bâton de 15 à 16 centimètres de longueur.

ARTICLE II. — *Composition, propriétés chimiques.*

Matières volatiles. — Le charbon préparé en grand, et qui n'a pas été exposé à l'air, ne renferme pas d'eau, mais il retient toujours une proportion assez considérable de substances volatiles : de là vient qu'il brûle en produisant une légère flamme dans les premiers momens de la combustion. On peut en expulser la presque totalité des substances volatiles, en le calcinant à la chaleur blanche; cependant, selon Davy, il retient encore alors un peu d'hydrogène, qui ne peut en être chassé que par l'action d'une chaleur excessivement élevée.

Combustion. — Le charbon ordinaire ne commence à brûler qu'à la température de 240°; mais au moment où il sort des meules, il est très pyrophorique, et quand on l'introduit dans les halles avant de l'avoir laissé complètement refroidir, il arrive souvent qu'il s'embrase spontanément. Le charbon réduit en poudre impalpable est beaucoup plus pyrophorique encore que le charbon en morceaux. M. le colonel d'artillerie Aubert a constaté que cette propriété dépend de la faculté qu'a le charbon d'absorber et de condenser l'air atmosphérique dans ses pores, et que l'absorption s'effectue en quelques jours. Dans les masses de plus de 30 kilogrammes, elle détermine une élévation de température de 170 à 180°. Le charbon le plus pyrophorique est celui qui est de couleur noire, sans avoir été trop cuit.

Oxigène consommé.

Du charbon qui serait absolument pur consommerait, par kilogramme, pour se transformer en acide carbonique, $2^k,65$ d'oxigène, ou 1853 litres à 0°, et $11^k,46$ d'air atmosphérique, ou 8820 litres à 0°, et 9120 litres à la température ordinaire de nos climats.

Proportion de l'eau hygrométrique. — Le charbon est très hygrométrique : aussi celui que l'on trouve dans le commerce et celui que l'on emploie dans les usines, con-

tiennent-ils toujours beaucoup d'eau. Le charbon du commerce, réputé sec, ne renferme que l'eau qu'il enlève à l'air atmosphérique et qu'il condense dans ses pores; mais le charbon humide contient en outre de l'eau qu'il absorbe par voie de capillarité, au contact du sol et de tous les corps mouillés. Selon M. Karsten, le charbon ordinaire perd, terme moyen, 0,094 d'eau, à la température de 100°. Mais l'expérience prouve que la proportion de vapeurs qu'il condense est variable, et d'autant plus grande, en général, qu'il a été plus fortement calciné et qu'il retient moins de substances combustibles volatiles : 100 parties de charbons de diverses sortes pesés chauds, au moment où ils sortaient des meules ou des tuyaux distillatoirs, ayant été exposés à l'air dans des vases plats, ont absorbé les quantités suivantes d'eau atmosphérique.

Charbon de bourdenne, de la fabrique de poudre d'Essonne, contenant 0,415 de substances volatiles combustibles.	4 parties.
Charbon préparé à Choisy, près de Paris, dans des cylindres de fer, et contenant 0,17 de substances volatiles combustibles.	6
Charbon de chêne, hêtre, aulne; etc., préparé en meules à Pontgibaud, et contenant 0,08 à 0,10 de substances combustibles volatiles.	7
Le charbon de sapin n'augmente que de .	6
Charbon calciné à la chaleur blanche.	12 à 13

Durée de l'absorption.

La condensation de la vapeur d'eau n'a lieu que peu à peu; mais elle est toujours complète au bout de cinq à six jours, et quand le charbon est saturé, il diminue de poids dans l'air sec, il augmente dans l'air humide, et il abandonne la totalité de l'eau qu'il a condensée, à une température très peu supérieure à 100°. On peut d'ailleurs le calciner dans des tubes de verre, pour en expulser cette eau, sans crainte de vaporiser en même temps

les substances combustibles volatiles; ces substances ne commencent à se séparer qu'à une température voisine de la chaleur blanche.

Cendres. — Outre les matières volatiles, le charbon renferme, comme le bois, des substances salines et terreuses qui restent à l'état de cendres après la combustion. Ces substances s'y trouvent en proportion considérable, et d'autant plus grande que le bois en contient davantage et fournit moins de charbon. Si l'on admet que le bois fournit en grand le cinquième de son poids de charbon, terme moyen, celui-ci devra contenir cinq fois autant de cendres que le bois; et l'on pourra en calculer la proportion exacte en ayant recours au tableau que nous avons inséré pages 259 et 260. On trouve, de cette manière, que cette proportion est le plus ordinairement de 0,03 à 0,04; mais pour quelques espèces elle est beaucoup moindre, ou, au contraire, beaucoup plus considérable. Ainsi, dans le charbon de bourdenne il n'y en a que 0,008, tandis que dans le charbon d'acajou, etc., il y en a 0,08; dans le charbon de tilleul, 0,20; et dans le charbon d'écorce de chêne, près de 0,25.

Proportion.

Remarque. Il est essentiel de faire remarquer que, lorsque l'on veut déterminer avec exactitude la proportion des cendres que contient un charbon, il faut avoir l'attention de prendre l'échantillon sur une assez grande masse de celui-ci, après l'avoir concassé et pilé grossièrement, parce que l'écorce en contenant une beaucoup plus grande quantité que le cœur, et étant beaucoup plus fragile, si l'on prenait des fragmens au hasard, il arriverait que ces fragmens se trouvant presque complètement écorcés, donneraient beaucoup moins de cendres que le charbon entier pourrait en produire. Lorsque l'on examine comparativement les morceaux et la poussière ou le frasil dont se compose une mesure quelconque de charbon tel qu'on se le procure dans le commerce, on trouve que, pour un même poids, la poussière produit deux fois environ autant de cendres que les gros morceaux, et deux

fois et demie et même trois fois autant que les fragmens qui sont dépourvus d'écorce.

Analyse immédiate. — D'après ce qui vient d'être dit, on voit qu'il s'en faut de beaucoup que le charbon de bois soit du carbone pur. Pour en faire l'analyse immédiate, il faut, 1°. en calciner une certaine portion au creuset de platine, ce qui donne la proportion des substances volatiles; et 2°. en brûler une autre portion et calciner les cendres à la chaleur blanche, afin d'avoir la proportion des matières fixes incombustibles. La calcination des cendres est indispensable et a pour objet d'expulser l'acide carbonique, qui sans cela resterait combiné avec la chaux, et qui ferait supposer la quantité de carbone moindre qu'elle ne l'est réellement, puisque dans le charbon fortement calciné la chaux se trouve en totalité à l'état caustique.

ARTICLE III. — *Pouvoir calorifique.*

Emploi de la litharge. — On détermine sans difficulté le pouvoir calorifique du charbon par le moyen de la litharge : aucune partie n'échappe à la combustion, si l'on a le soin de le porphyriser très exactement. En traitant comparativement par la litharge du charbon brut, et le même charbon préalablement calciné, on calcule aisément, d'après la différence des quantités de plomb que l'on obtient, le pouvoir calorifique de la partie combustible volatile, et la quantité de carbone à laquelle cette partie combustible est équivalente. Il n'est pas même nécessaire de faire deux expériences, lorsque l'analyse immédiate a été faite; car alors, en retranchant de la quantité de plomb que donne le charbon brut, celle que donnerait la proportion de carbone contenue dans le charbon calciné, on a évidemment la quantité de plomb qui résulte de l'action des matières volatiles sur la litharge.

Remarque. Berthollet a trouvé, par expérience, que lorsqu'on chauffe en vase clos du charbon du commerce, à une chaleur graduée, après que l'eau en a été expulsée, les gaz qui se dégagent deviennent de plus en plus riches en hy-

drogène, et de moins en moins riches en oxigène, et que ces gaz contiennent constamment à peu près la même quantité de carbone, environ la moitié de leur poids.

Résultats analytiques et calorifiques. — Nous donnons, dans les deux tableaux suivans, le résultat de l'analyse immédiate et de l'essai par la litharge, de différentes espèces de charbons. Le premier de ces tableaux se rapporte à des charbons de Picardie, transportés par terre et pris sur le marché de Paris, et au charbon marchand de Choisy. Le second, à divers charbons que l'on a enfermés dans des bouteilles bien bouchées, pendant qu'ils étaient encore chauds, et que l'on a, par ce moyen, préservés du contact de l'air avant de les examiner.

	Épine. (1)	Peuplier. (2)	Érable. (3)	Frêne. (4)	Tremble. (5)	Fusin. (6)	De Choisy. (7)
Charbon.....	0,880	0,856	0,852	0,832	0,820	0,828	0,720
Cendres calcinées.....	0,024	0,010	0,010	0,018	0,030	0,016	0,066
Matières volatiles.....	0,096	0,134	0,138	0,150	0,150	0,156	0,214
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb produit.	32,0	30,6	30,6	29,6	29,5	30,3	27,4

	Sapin. (8)	Aulne. (9)	Bouleau. (10)	Chêne. (11)	Noisetier. (12)	De Choisy. (13)	Bourdenne. (14)
Charbon.....	0,903	0,902	0,881	0,880	0,877	0,766	0,577
Cendres calcinées.....	0,022	0,018	0,019	0,020	0,020	0,064	0,008
Matières volatiles.....	0,075	0,080	0,100	0,100	0,103	0,170	0,415
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb produit.	32,3	32,4	31,4	31,3	32,0	29,8	25,0

(1) *Charbon d'épine* en gros morceaux : les 0,096 de matières volatiles équivalent à 0,06 de carbone.

(2) *Charbon de peuplier* en gros morceaux : les 0,134 de matières volatiles équivalent à 0,05 de carbone.

(3) *Charbon d'érable* en gros morceaux : les 0,138 de matières volatiles équivalent à 0,05 de charbon.

(4) *Charbon de frêne* en gros morceaux : les 0,150 de matières volatiles équivalent à 0,04 de carbone.

(5) *Charbon de tremble* en gros morceaux : les 0,150 de matières volatiles équivalent à 0,05 de carbone.

(6) *Charbon de fusin* en gros morceaux : les 0,156 de matières volatiles équivalent à 0,065 de carbone.

Dans ces divers charbons, la proportion d'eau hygrométrique est de 0,06 à 0,07.

(7) *Charbon* préparé avec des menues branches, à Choisy, près de Paris, par distillation, dans des cylindres de fer ; en morceaux assez menus, mais non brisés. Sa poussière est noire ; lorsqu'on le chauffe dans un tube de verre, il s'en dégage de l'eau et une légère fumée, mais il ne donne aucune trace de substances huileuses. Il brûle en produisant une flamme assez longue pendant un certain temps, mais sans fumée. Les 0,214 de matières volatiles qu'il contient équivalent à 0,09 de carbone.

(8) *Charbon de Pontgibaud*, concassé en petits morceaux : les 0,075 de matières volatiles équivalent à 0,05 de carbone.

(9) *Charbon d'aulne de Pontgibaud*, concassé en petits morceaux : les 0,080 de matières volatiles équivalent à 0,05 de carbone.

(10) *Charbon de bouleau de Pontgibaud*, concassé en petits morceaux : les 0,100 de matières volatiles équivalent à 0,045 de carbone.

(11) *Charbon de chêne de Pontgibaud*, concassé en petits morceaux : les 0,10 de matières volatiles équivalent à 0,40 de carbone.

Le charbon de chêne de Poulaouen, en gros morceaux : donne 0,023 de cendres calcinées, et 0,120 de matières volatiles, qui équivalent à 0,076 de carbone.

(12) *Charbon de noisetier de Pontgibaud*, concassé en

petits morceaux : les 0,103 de matières volatiles équivalent à 0,060 de carbone.

Charbon distillé. (13) *Charbon de Choisy*, préparé comme le n° 7, mais examiné avant qu'il ait été exposé à l'air : les 0,170 de matières volatiles équivalent à 0,110 de carbone. Si ce charbon ne contenait pas plus de cendres que les charbons précédens, son pouvoir calorifique serait à peu près le même pour des poids égaux. On serait porté à conclure de ce fait, que dans la carbonisation en meules, la calcination est poussée un peu trop loin, et que la carbonisation par distillation est plus avantageuse; mais indépendamment de ce que ce dernier procédé est beaucoup plus compliqué et plus dispendieux que le premier, il faut remarquer qu'il ne donne pas du charbon de même qualité. Le charbon de Choisy est beaucoup plus léger, beaucoup plus aisément inflammable, et donne beaucoup plus de flamme que le charbon qui provient des meules, et il résulte de là qu'il brûle beaucoup plus vite, et qu'à volumes égaux il produit une température moins intense. Or, la carbonisation ayant principalement pour objet de préparer un combustible qui produise dans les fourneaux le plus haut degré de température possible, il ne paraît pas qu'il puisse y avoir avantage à employer le charbon obtenu par distillation, pour l'usage des usines; mais ce charbon est très propre à opérer des évaporations, lorsqu'on ne veut pas se servir, pour cela, des combustibles qui répandent de la fumée.

Charbon distillé. (14) *Charbon de bois de bourdenne* (8), page 249, préparé par distillation en vase clos, au Bouchet, près d'Essonne, pour servir à la fabrication de la poudre. Ce charbon est couleur chocolat; chauffé dans un tube de verre, il laisse dégager des matières huileuses épaisses; il brûle avec une longue flamme accompagnée de fumée, à la manière des charbons mal préparés que l'on appelle *fumerons*. Lorsque, après l'avoir réduit en poudre impalpable, on le fait bouillir avec une dissolution de potasse caustique, il devient noir et laisse dissoudre une

petite quantité de matière qui colore la liqueur en rouge-brun, et qui se comporte avec les principaux réactifs comme de l'*ulmine*. Le charbon préparé en meule et le charbon de Choisy sont absolument inattaquables par la potasse. Les 0,415 de matières volatiles contenus dans le charbon du Bouchet n'équivalent qu'à 0,160 de carbone, d'où l'on voit qu'elles sont beaucoup moins riches en combustible que les matières volatiles qui restent dans le charbon de Choisy et dans le charbon fait en meules. A poids égaux, le pouvoir calorifique de ce charbon est à celui du charbon ordinaire à peu près :: 74 : 90; c'est sa grande combustibilité qui le fait préférer pour la fabrication de la poudre.

Calories. — Nous avons déjà dit que le pouvoir calorifique du carbone pur est exprimé par le nombre 7815, qui indique combien de fois son poids d'eau il peut échauffer d'un degré thermométrique. Il suit de là que le carbone pur pourrait amener à l'ébullition 78,15 fois son poids d'eau liquide à zéro, et vaporiser 11,8 fois son poids de ce liquide. Théoriquement, il produirait 34 parties de plomb avec la litharge, et c'est effectivement ce que donne à très peu près le charbon de sucre fortement calciné. Le charbon ordinaire n'en donnant que 29 à 30, il s'ensuit que son pouvoir calorifique exprimé en *calories* n'est que de 6700 à 6900, et qu'il ne peut vaporiser que 10 à 11 parties d'eau, ce qui s'accorde avec les expériences directes.

Donnée de la pratique. — La pratique a appris, 1°. qu'à volumes égaux, les charbons de bois durs donnent plus de chaleur que les charbons de bois tendres, mais qu'à poids égaux les effets calorifiques sont peu différens, si même les charbons de bois tendres n'ont pas l'avantage; 2°. que le charbon sorti récemment des meules brûle avec plus de facilité, mais chauffe moins que celui qui est resté pendant un certain temps dans les halles; 3°. que le charbon obtenu par distillation est léger, brûle facilement et rapidement, mais ne produit pas une si haute température que celui qui a été cuit en meule.

Influence de l'essence.

Influence du temps.

Influence du procédé.

Conséquences. La différence entre ces deux sortes de charbon est si considérable, qu'on ne peut guère employer le charbon préparé en vase clos pour faire des essais de minerais de fer, et qu'en général on ne peut s'en servir dans les opérations métallurgiques qu'avec désavantage. Cependant nous avons vu qu'il développe exactement la même quantité de chaleur totale que le charbon de meule. Les défauts qu'on lui a généralement reconnus paraissent dépendre de sa légèreté, de la grande proportion de matières volatiles combustibles qu'il renferme, et de sa trop facile combustibilité.

Influence de la densité. Il résulte de sa légèreté, que dans le même espace il en tient un moindre poids que de charbon de meule; par cette raison il doit produire une température moins élevée que ce dernier. Il paraîtrait au premier aperçu que sa facile combustibilité devrait compenser cet inconvénient et tendre à élever la température : cela aurait lieu effectivement s'il ne se composait que de substances fixes; mais comme il en contient de volatiles, il arrive que celles-ci se dégagent peu à peu, et se répandent, en s'enflammant, dans une certaine étendue au-dessus du foyer; qu'ainsi *le lieu* de la combustion, ou l'espace dans lequel elle s'effectue, est beaucoup plus grand que celui qu'occupe le charbon : d'où il suit que dans ce dernier espace la température doit être moins élevée que lorsqu'on y brûle du charbon qui ne contient pas de matières volatiles.

Influence des matières volatiles.

Influence de la combustibilité. La facile combustibilité du charbon préparé par distillation, fait qu'il faut en ajouter fréquemment pour entretenir le foyer, afin que l'effet que l'on veut produire se continue sans éprouver une trop grande variation; et il en résulte que les gaz qui sortent par la cheminée ont une température plus haute que si l'on eût employé un combustible qui brûlât plus lentement; et par suite, que l'on perd une plus grande partie de la chaleur totale développée.

Il est évident qu'en brûlant le charbon distillé d'une manière convenable, on pourrait utiliser toute sa chaleur

dans une multitude de circonstances où l'on n'a pas besoin de produire une température très élevée, et que son effet utile serait alors égal à celui du charbon de meule. Mais toutes les fois que l'on a en vue d'obtenir une très haute température, comme dans les essais docimasiques et dans les opérations métallurgiques, le charbon de meule est infiniment préférable et beaucoup plus économique; en effet, dans ce cas la condition essentielle est que toute la chaleur qui se développe se concentre dans l'espace occupé par le charbon; ce qui exige que la combustion ait lieu seulement dans cet espace, et qu'il ne se produise pas d'autres matières gazeuses que celles qui sont le résultat indispensable de l'opération : alors le calorique se propage principalement par voie de rayonnement, et est rapidement accumulé par les parois du fourneau.

Bois et charbon comparés. — A poids égaux, le charbon a un pouvoir calorifique plus que double de celui du bois. A volumes égaux la différence est moins grande, mais cependant toujours notable; elle varie avec la pesanteur spécifique relative du bois, et du charbon qu'il produit. Quoi qu'il en soit, à volumes égaux, la combustion du charbon développe toujours une température beaucoup plus élevée que la combustion du bois, par les raisons que nous avons exposées plus haut. C'est à cause de cela que, pour les opérations métallurgiques qui exigent une très forte chaleur, on n'emploie que le charbon; et que pour un grand nombre d'autres opérations, lorsque la flamme n'est pas nécessaire, on préfère le charbon au bois, quoiqu'en carbonisant celui-ci on perde la moitié de la matière combustible qu'il renferme.

Rayonnement. — M. Péclet a trouvé par expérience, que dans la combustion du charbon la quantité de chaleur dispersée par le rayonnement est à celle qui est entraînée par le gaz :: 2 : 5; mais il admet, comme donnée *minimum*, que le pouvoir rayonnant dispersc le tiers de la chaleur totale.

SECTION IV.

De la tourbe.

ARTICLE PREMIER. — *Propriétés physiques.*

Production. *Gisement.* — La tourbe est le produit de l'altération spontanée des plantes herbacées et aquatiques et des bois, qui a lieu lorsque ces plantes se trouvent accumu-
Gisement. lées dans des endroits marécageux ou très humides. On en trouve partout où il y a des eaux stagnantes, et principalement sur les bords des rivières dont le cours est très lent. Il y en a dans les vallées de tous les niveaux, et il en existe même des dépôts considérables sur des plateaux très élevés, dans les Vosges, dans les Alpes, etc.; mais elle abonde surtout vers l'embouchure des fleuves qui parcourent un sol très bas, comme le Rhin, la Meuse, la Somme, la Loire, etc. Elle est partout en bancs horizontaux, quelquefois fort épais, divisés par des lits d'argile et de gravier dont elle est elle-même très mélangée : elle se présente à la surface du sol, ou recouverte d'alluvions de très peu d'épaisseur. On y trouve des restes d'animaux analogues à ceux qui vivent, et on y a observé des débris de bateaux, des médailles et des ustensiles divers; ce qui prouve qu'en général elle n'est pas antérieure à l'existence de l'homme. Il s'en forme encore journellement.

Deux espèces. On distingue la tourbe en tourbe ligneuse et en tourbe herbacée, selon qu'elle se compose principalement de fragmens de bois ou de débris de plantes. La dernière est la plus commune.

État des végétaux. — Les végétaux qui ont donné naissance à la tourbe s'y trouvent dans un état de décomposition plus ou moins avancée; mais cette décomposition est rarement complète : on y distingue toujours des débris de plantes dont l'espèce est reconnaissable, et souvent ces plantes sont entières et presque intactes.

Aspect Quand la tourbe est très altérée, elle est compacte, noire, et elle ressemble à du terreau; mais le plus souvent

elle est spongieuse, d'un brun plus ou moins foncé, et elle a l'aspect d'un fumier comprimé.

Pesanteur spécifique. — La pesanteur spécifique de la tourbe est tellement variable, en raison de son état de dessiccation et de la proportion de matières terreuses qu'elle renferme, qu'il n'y a rien de général à dire à cet égard. En se desséchant à l'air elle éprouve un retrait considérable, et qui varie des $\frac{3}{5}$ aux $\frac{4}{5}$; mais la dessiccation n'a lieu que lentement, et n'arrive à son terme qu'au bout d'un an au moins. — Dans le nord-ouest de la France, les 1000 briquettes de tourbe séchées à l'air pèsent 300 à 375 kilogrammes. — Le mètre cube de tourbe sèche et peu terreuse, de Rothau (Haut-Rhin), pèse 360 kilogrammes. — La tourbe du Fichtelgebirge, en Bavière, pèse de 285 à 590 kylogrammes le mètre cube sans vide. — A Crouy-sur-Ourcq, près de Meaux, les 1000 briquettes de tourbe mousseuse sèche pèsent 300 kilogrammes, et le mètre cube 250 kilogrammes. — Les 1000 briquettes de tourbe noire pèsent 315 kilogrammes, et le mètre cube 310 kilogrammes.

ARTICLE II. — *Composition, propriétés chimiques.*

Ulmine. — Lorsque les végétaux, par l'effet de leur long séjour dans des lieux marécageux, se sont altérés au point de perdre leur organisation et de ne plus former qu'une masse terreuse, ils se sont changés en une substance particulière que l'on nomme *ulmine*, ou *acide ulmique*, ou *géine*. Cette substance étant l'élément principal de la tourbe, il importe d'en connaître les propriétés. L'ulmine pure, lorsqu'elle est desséchée, est noire et très fragile; sa cassure est vitreuse et a l'éclat du jayet. Elle est peu sapide et inodore; elle ne se dissout ni dans l'eau ni dans l'éther; mais elle est très soluble au contraire dans l'alcool, dans l'acide sulfurique concentré, et dans l'acide acétique à chaud; l'eau la précipite de ces dissolutions. Elle sature complètement les propriétés alcalines de la potasse, de la soude et de l'ammoniaque, avec lesquelles elle forme des sels solubles de couleur

brune; elle se dissout aussi dans les carbonates alcalins. Les acides précipitent des dissolutions de ces sels de l'ulmine en combinaison avec l'acide précipitant, sous forme de flocons d'un brun rougeâtre, insolubles dans l'eau acide, mais sensiblement solubles dans l'eau pure : les sels terreux y forment des précipités d'*ulmates* sensiblement solubles dans l'eau, surtout celui de chaux; et les sels métalliques, des précipités qui sont tout-à-fait insolubles. L'ulmine donne à la distillation les produits ordinaires des matières végétales, et environ la moitié de son poids de charbon; elle brûle avec flamme et en se boursouflant. En se combinant avec les bases l'ulmine n'abandonne pas d'eau. Selon M. Polydore Boullay, elle est composée de

Carbone.....	0,567	—	2 atomes.
Eau.....	0,433	—	1

elle renferme donc plus de carbone que le ligneux. (*Voy.* page 241.)

Débris végétaux. Outre l'ulmine, les tourbes contiennent des débris de végétaux divers non altérés ou incomplètement décomposés, des détritus de matières animales, et des substances terreuses qui restent à l'état de cendres après la combustion. On verra plus loin que toutes ces matières se trouvent mélangées entre elles en proportions extrêmement variées.

Matières terreuses.

La tourbe a beaucoup de rapport avec le terreau; mais celui-ci contient, outre l'ulmine, une matière extractive soluble dans l'eau, et une matière insoluble dans les alcalis, que l'on distingue sous le nom de *terreau charbonneux*.

Usage. — On emploie la tourbe comme combustible, tantôt dans son état naturel, tantôt après l'avoir carbonisée.

Produits. *Distillation.* — Les tourbes donnent à la distillation les mêmes produits que le bois, c'est-à-dire des gaz combustibles, de l'eau acide et des huiles, et presque toujours en outre de l'ammoniaque. Ces gaz renferment quelquefois de l'azote libre. Le charbon qui reste après

la distillation a la même contexture que la tourbe; mais il occupe un volume beaucoup moindre; le retrait est le plus ordinairement des deux tiers.

Carbonisation. — La carbonisation s'opère soit par la méthode de la cuite en meules, soit par distillation, soit par calcination dans des fours en maçonnerie. La méthode de la cuite en meules est la plus simple et la plus économique de toutes; mais elle présente des difficultés d'exécution qui tiennent à la grande combustibilité du charbon de tourbe : il serait très important pour les arts que l'on parvînt à la perfectionner. La distillation se fait comme celle du bois, mais elle ne donne pas des produits aussi utiles. La calcination dans des fours en maçonnerie est, dans l'état des choses, le meilleur mode que l'on puisse employer. On peut en voir la description dans les *Annales des Mines* (tom. V, 2e série, pages 211).

En meules.

En vases clos.

La proportion de charbon que produisent les tourbes est extrêmement variable, à raison du mélange des matières terreuses; elle est toujours beaucoup plus grande que celle que donne le bois : communément elle est de 0,35 à 0,40 en volume, et elle varie du quart au tiers en poids. Il est très essentiel de remarquer qu'abstraction faite des cendres, le produit en carbone réel est beaucoup plus grand pour les tourbes que pour les bois.

Charbon.

Incinération. — Les cendres que laisse la tourbe par sa combustion, proviennent des sels que renferme la matière végétale, et principalement des matières terreuses mélangées mécaniquement. Les sels sont de même nature que ceux qui se trouvent dans le bois. Aussi quand on analyse les cendres de tourbe avec soin, y trouve-t-on des carbonates alcalins : on ne les emploie cependant pas comme matières alcalines, parce qu'elles sont mélangées d'une trop grande quantité de substances étrangères. Ces substances sont très variées; elles proviennent évidemment du limon que les eaux tiennent en suspension dans les temps de pluie; ce qui le prouve, c'est qu'elles sont toujours de même nature que le sol environnant, calcaires et argileuses dans les pays où les pierres calcaires dominent,

Origine des cendres.

Composition.

sableuses au milieu des roches primitives, etc. Les tourbes qui se trouvent sur les plateaux élevés sont les plus pures et celles qui donnent le moins de cendres, parce qu'elles ne sont jamais inondées par des eaux troubles. Outre le carbonate de chaux, l'argile et le sable, ces tourbes renferment très souvent du sulfate de chaux, et quelquefois même en assez grande proportion ; alors le charbon qu'on en extrait et les cendres exhalent une odeur sulfureuse plus ou moins prononcée, parce que le sulfate de chaux se change en sulfure de calcium par la réaction des matières combustibles. C'est probablement là ce qui fait dire que les tourbes contiennent souvent des pyrites de fer, et que ces pyrites se forment journellement dans leur sein. Mais cette assertion nous paraît tout-à-fait erronée ; nous n'avons jamais aperçu la plus petite trace de pyrite dans les tourbes, quoique nous en ayons examiné un grand nombre. Les cendres de tourbe sont employées avec avantage pour amender les terres. A Beauvais on les vend $0^f,75$ l'hectolitre, qui pèse 57 kilogrammes.

Usage.

Analyse immédiate. — On fait l'analyse immédiate des tourbes de la même manière que l'analyse des bois. On peut, de plus, y rechercher la proportion relative d'ulmine et de matières végétales non altérées : pour cela on broie la tourbe, on la dessèche complètement à une température voisine de l'ébullition ; on en prend un ou deux grammes que l'on fait digérer à chaud dans une dissolution de potasse caustique ; on décante la liqueur, qui est brune, et on la renouvelle jusqu'à ce qu'elle cesse de se colorer ; on lave à l'eau distillée ; on dessèche le résidu à la même température que la tourbe, et la perte de poids donne la proportion de l'ulmine, qui se dissout en totalité dans l'alcali.

Combustion. — La tourbe brûle, comme le bois, avec flamme et fumée, mais lentement, parce que sa combustion est retardée par le mélange des matières terreuses ; elle exhale presque toujours une odeur piquante et fort désagréable qui paraît tenir à la présence de substances animales.

Résultats analytiques. — Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse immédiate de quelques tourbes.

	Démérary. (1)	Château-Landon. (2)	Clermont. (3)	Reims. (4)	Voitsumra. (5)	Rourgogne. (6)	Troyes. (7)
Charbon.....	0,235	0,260	0,301	0,347	0,386	0,222	0,140
Cendres.....	0,173	0,150	0,174	0,068	0,017	0,071	0,160
Matières volatiles liquides.	0,367	0,310	0,284	0,399	0,385	0,707	0,700
Gaz.....	0,225	0,280	0,241	0,186	0,212		
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

	CROUY.				Ham.	Vassy.	Framont.
	Noire. (8)	Compacte. (9)	Mousseuse. (10)	Légère. (11)	(12)	(13)	(14)
Charbon.....	0,237	0,215	0,232	0,191	0,185	0,233	0,260
Cendres.....	0,115	0,188	0,120	0,111	0,117	0,072	0,030
Matières volatiles.....	0,648	0,597	0,648	0,698	0,698	0,695	0,710
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Tourbe de Démérary* (Cayenne); herbacée et brune.

(2) *Tourbe des marais de Sceaux*, près de Château-Landon (département de Seine-et-Marne); herbacée et brune : elle brûle sans répandre de mauvaise odeur. Les cendres qu'elle laisse par la combustion, et non calcinées, sont composées de

Carbonate de chaux et chaux caustique..	0,630
Argile inattaquable par les acides.....	0,075
Silice gélatineuse.....	0,150
Alumine.....	0,070
Oxide de fer.....	0,070
Carbonate de potasse.....	0,005
	1,000

La silice gélatineuse vient de l'argile qui se trouve at-

taquée en grande partie par la chaux pendant la combustion.

(3) *Tourbe des environs de Clermont* (département de l'Oise); compacte, d'un brun très foncé.

(4) *Tourbe de la vallée de Vesle*, près de Reims, analysée par M. Blavier.

(5) *Tourbe de Voitsumra*, dans le Fichtelgebirge, frontières de la Bavière et de la Bohème; elle se trouve près des sources du Mein, à un niveau d'environ 1000 mètres au-dessus de la mer. Elle renferme beaucoup de débris d'arbres. Selon M. Fikenscher qui en a fait l'analyse, elle donne à la distillation 0,245 de goudron et 0,140 d'eau contenant de l'acide acétique et de l'ammoniaque. Les gaz qui se dégagent sont composés de :

Acide carbonique...	0,1080	0,2125.
Hydrogène carboné.	0,1018	
Azote.....	0,0027	

Les cendres contiennent :

Silice.....	0,365
Alumine.....	0,173
Oxide de fer.....	0,330
Chaux.....	0,020
Magnésie.....	0,035
Sulfate de chaux..	0,045
Muriate de chaux..	0,005
Charbon.....	0,027
	1,000

L'analyse médiate de la même tourbe, faite au moyen de l'oxide de cuivre, a donné à M. Fikenscher,

Carbone.....	0,6656
Hydrogène...	0,1039
Oxigène.....	0,1859
Azote.....	0,0276
Cendres.....	0,0170
	1,0000

(6) *Tourbe des marais de Bourgoing* (département de

l'Isère); herbacée et brune : les cendres sont très calcaires, et donnent l'odeur d'hydrogène sulfuré avec les acides.

(7), (8), (9), (10) Quatre variétés de *tourbe de Crouy-sur-Ourcq*, près de Meaux (M. Chevalier). On fait du charbon avec la tourbe noire et avec la tourbe compacte.

(11) *Tourbe des environs de Troyes;* brune et herbacée, tantôt compacte, tantôt spongieuse. Desséchée à une température modérée, elle perd 0,23 d'eau. On s'en sert pour chauffer les chaudières dans les ateliers de teinture et les buanderies. Elle contient une petite quantité de sulfate de chaux. La cendre non calcinée qu'elle laisse par la combustion est composée de :

Acide carbonique et soufre. .	0,23
Chaux.....	0,23
Magnésie.....	0,14
Alumine et oxide de fer. ...	0,14
Argile et silice.....	0,26
	1,00

Le soufre est combiné avec du calcium.

(12) *Tourbe de Ham* (département de la Somme); compacte, d'un brun très foncé; on n'y voit presque pas de débris de plantes; la matière combustible est de l'ulmine presque pure, et se dissout pour la plus grande partie dans la potasse. Cette tourbe brûle en répandant une odeur désagréable. La matière terreuse se compose de parties égales d'argile et de carbonate de chaux.

(13) *Tourbe de Vassy* (département de la Marne); compacte et très brune; elle est mêlée de fragmens de craie visibles à l'œil : les cendres contiennent beaucoup de sulfure de calcium. La matière terreuse, non altérée par la chaleur, est composée de :

Argile.....	0,110
Carbonate de chaux..	0,515
Sulfate de chaux. ...	0,260
Oxide de fer.....	0,115
	1,000

(14) *Tourbe du Champ-du-Feu,* près de Framont (département des Vosges) : elle se trouve en abondance sur un plateau primitif très élevé ; elle est compacte, herbacée, couleur chocolat clair. La cendre qu'elle donne est jaunâtre et composée de

Silice.....	0,40	1,00
Alumine et oxide de fer..	0,30	
Chaux.....	0,30	

On exploite à Ichoux (département des Landes), pour le service des fourneaux de pudlage, une tourbe brune qui est à peu près de même nature que celle de Framont. Elle donne à l'analyse 0,276 de charbon, et 0,038 de cendres argilo-calcaires. Elle perd 0,10 de son poids par dessiccation à la chaleur de l'eau bouillante.

ARTICLE III. — *Pouvoir calorifique.*

Résultats. Le pouvoir calorifique moyen de la tourbe sèche est à peu près le même que celui du bois, et souvent un peu supérieur. La tourbe de Troyes (11) donne 8 de plomb avec la litharge; la tourbe de Ham (12) en donne 12,3; la tourbe de Vassy (13) en donne 13,0; la tourbe de Framont (14) en donne 15,4, et la tourbe d'Ichoux autant.

La quantité de matières combustibles qui se volatilisent dans la carbonisation rapide de la tourbe équivaut, terme moyen, à une quantité de charbon égale aux deux tiers de celle qui reste après la calcination. Ainsi en carbonisant la tourbe on ne perd que les deux cinquièmes environ de l'effet calorifique qu'elle peut produire, tandis que dans la carbonisation rapide du bois cette perte est à peu près des deux tiers.

SECTION V.

Du charbon de tourbe.

Caractères. — Le charbon que l'on fait avec la tourbe est tendre et friable quand il renferme peu de matières

terreuses, et compacte et dur quand il en contient beaucoup. Le plus léger pèse autant que le charbon de bois, mais le plus ordinairement il pèse davantage. Le charbon de tourbe de Framont, qui est très pur, pèse 250 kilogrammes le mètre cube; celui qui est fait avec la tourbe de Voitsumra, dans le Ficktelgebirge, pèse 230 kilogrammes le mètre cube, sa densité est de 4; celui de Crouy-sur-Ourcq, sans poussier, pèse 310 kilogrammes. Le charbon de tourbe d'Essonne, employé à Paris, pèse 47 kilogrammes $\frac{1}{2}$ l'hectolitre enfaîté. Pesanteur spécifique.

Combustion. Le charbon de tourbe s'embrase très aisément, et brûle lentement, en produisant une flamme légère sans fumée. Quand une fois il est allumé, il se consume complètement, même lorsqu'il est en petits morceaux, et il laisse une cendre d'un même volume. Ces propriétés le rendent excellent à employer toutes les fois que l'on veut produire une chaleur modérée, égale et longtemps soutenue; par exemple, pour l'usage des fourneaux de cuisine et pour les évaporations; malheureusement les difficultés de la fabrication en élèvent trop le prix.

Composition. — Le charbon de tourbe préparé en grand renferme toujours une proportion de matières combustibles volatiles assez considérable, et il n'en est que de meilleure qualité pour les usages auxquels on le destine ordinairement, parce que c'est à la présence de ces substances qu'il doit la propriété de brûler avec flamme. D'ailleurs, en ne poussant pas la carbonisation jusqu'à son dernier terme, ils est évident qu'on tire de la tourbe un parti plus avantageux. Nous allons voir tout à l'heure quelle est la valeur des substances volatiles. Indépendamment de ces substances, il renferme toujours beaucoup d'eau hygrométrique qu'il soutire peu à peu de l'atmosphère, comme le fait le charbon de bois.

Pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique du meilleur charbon de tourbe est toujours un peu moindre que celui du charbon de bois; et quand la proportion de cendres est considérable, ce qui est le plus ordinaire, son

pouvoir calorifique n'équivaut qu'aux deux tiers ou aux trois quarts de celui du charbon de bois.

Rayonnement. — Selon M. Péclet, le charbon de tourbe et la tourbe crue ont à peu près le même pouvoir rayonnant, et ce pouvoir est tel, qu'il disperse le tiers de la chaleur totale qui se produit pendant la combustion.

Résultats analytiques et calorifiques. — Nous donnons ici l'analyse de quatre variétés de charbon de tourbe préparé en grand, ainsi que la quantité de plomb que chacune d'elles produit avec la litharge; on déduit aisément de ce dernier résultat la valeur calorifique des substances volatiles.

	Crouy. (1)	Ham. (2)	Essonne. (3)	Framont. (4)
Charbon.....	0,430	0,495	0,516	0,672
Cendres calcinées.....	0,320	0,285	0,260	0,108
Matières volatiles.....	0,250	0,220	0,224	0,220
	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb produit.....	17,7	18,8	22,4	26,0

(1) *Charbon de Crouy-sur-Ourcq :* il ne contient qu'une trace de sulfure de calcium. Les 0,43 de carbone qu'il donne par une forte calcination produiraient 14,5 de plomb ; les 0,250 de matières volatiles en donnent donc 3,2 ; d'où il suit qu'elles équivalent à 0,097 de carbone. Ainsi, en calcinant fortement ce charbon, on lui ferait perdre plus du sixième de sa valeur calorifique.

(2) *Charbon de Ham,* préparé en grand par M. Delêtre : il est noir, compacte et dur ; il ne contient pas du tout de sulfure de calcium. Les cendres qu'il laisse sont composées de

Silice.....	0,320	1,000
Alumine et oxide de fer.	0,188	
Chaux et magnésie.....	0,492	

Les matières volatiles que ce charbon retient n'équivalent qu'à 0,03 de carbone : on peut donc croire qu'il est un peu trop cuit.

(3) *Charbon d'Essonne*, très employé à Paris pour les usages domestiques, et vendu sous le nom de *charbon double* : ses cendres sont essentiellement calcaires et ne renferment que 0,30 de silice, alumine et oxide de fer. Les matières volatiles que ce charbon retient équivalent à 0,15 de carbone. Le charbon de bois ordinaire produisant 27 à 28 de plomb, on voit que 4 parties de ce combustble développent en brûlant autant de chaleur que 5 parties de charbon de tourbe d'Essonne.

(4) *Charbon de Framont*, préparé avec la tourbe du Champ-du-Feu; léger et poreux, sans être friable : il ne contient pas de sulfure. C'est un charbon de première qualité : on l'emploie avec avantage à Framont, dans l'affinage de la fonte, et l'on a trouvé qu'il peut remplacer son propre poids de charbon de bois. Les matières volatiles qu'il contient équivalent à 0,10 de carbone. Il paraît être parfaitement préparé.

Analyse médiate. — M. Fikenscher a analysé le charbon préparé en grand avec la tourbe de Voitsumra ; il y a trouvé :

Carbone.....	0,899
Hydrogène..	0,017
Azote.....	0,024
Cendres....	0,042
	0,982

Ce charbon ne contenant pas du tout d'humidité, il est probable qu'il avait été pris au sortir du four de calcination. Pour s'assurer de la présence de l'azote, M. Fikenscher l'a chauffé avec du carbonate de potasse, et il a vu que l'eau versée sur la matière chaude en a dégagé de l'ammoniaque, et que les sels de peroxide de fer ont formé des précipités bleus dans la liqueur. M. Moser a essayé avec plein succès d'employer ce charbon pour traiter les minerais de fer au haut-fourneau; il a trouvé qu'il remplaçait poids pour poids le charbon de pin et de sapin,

et qu'il ne communiquait aucune mauvaise qualité à la fonte.

Usages métallurgiques. — Si l'on parvenait à simplifier et à rendre plus économique la préparation du charbon de tourbe, il n'y a pas de doute qu'on en tirerait un parti très avantageux dans les travaux métallurgiques, et particulièrement pour le travail du fer. On pourrait même employer dans les hauts-fourneaux du charbon très terreux, pourvu que les cendres fussent calcaires, parce que ces cendres remplaceraient une partie de la *castine*, dont on diminuerait d'autant la proportion. Il pourrait être bon de faire des briquettes avec un mélange en proportions convenables de tourbe vaseuse et de minerai de fer en grains ou en poudre, de cuire ces briquettes en meules comme du bois, et de les jeter ensuite au haut-fourneau : on rendrait ainsi le charbon de tourbe moins combustible, plus solide, et plus facile à éteindre après sa cuisson.

Usage docimasique. — La grande proportion de cendres que donne ordinairement le charbon de tourbe s'oppose à ce qu'on emploie ce combustible pour les essais de la voie sèche; il ne donnerait pas une assez haute température, et il encombrerait trop promptement les fourneaux; mais il peut servir dans les laboratoires, pour chauffer des bains de sable et pour faire des évaporations.

SECTION VI.

Des combustibles minéraux ou des houilles.

ARTICLE PREMIER. — *Généralités.*

Définition. — Nous désignons sous le nom de *houille* tous les combustibles minéraux, c'est-à-dire ceux qui font partie constituante de la croûte du globe, et qui sont enveloppés dans des matières pierreuses. Les houilles diffèrent beaucoup les unes des autres par leur aspect et par leurs propriétés, mais elles se composent toutes des mêmes principes élémentaires, le carbone, l'hydrogène, l'oxigène et quelquefois l'azote, combinés entre eux dans

Composition.

une multitude de proportions diverses. Cette constitution est la même que celle des matières végétales, et en effet il est hors de doute maintenant que toutes les houilles, sans exception, ne sont autre chose que le produit de l'altération plus ou moins profonde, par une cause qui n'est pas encore connue, de plantes et d'arbres d'espèces diverses : les empreintes et les restes de parties organisées dont elles sont remplies ont même permis de reconnaître et de caractériser un grand nombre de ces espèces, et la flore souterraine s'enrichit tous les jours. Les houilles doivent être considérées comme des bitumes solides dont la matière se trouve entièrement mélangée avec la matière pierreuse qui constitue les roches dans lesquelles elles sont renfermées, et qui peuvent en outre contenir quelques substances minérales que nous appellerons accidentelles, parce qu'elles y sont disséminées çà et là et irrégulièrement. Origine végétale.

Formations. — Il y a des houilles dans toutes les formations, depuis les plus modernes jusque dans les formations dites intermédiaires. Mais ce qui est très remarquable, c'est qu'elles se rapprochent d'autant plus, par leurs caractères, des matières végétales intactes, qu'elles sont d'une origine plus nouvelle. Ainsi les houilles des dernières formations ne diffèrent souvent en rien de la tourbe, et elles sont remplies de débris de végétaux qui sont à peine altérés; elles enveloppent même des arbres entiers, et l'on en connaît des gisemens qu'on prendrait pour des forêts enfouies. Au contraire, les houilles des formations intermédiaires ne sont presque que du carbone pur, et les rares empreintes que l'on y remarque sont à peine reconnaissables. Enfin, dans les formations secondaires les houilles ont les caractères des matières bitumineuses; elles sont riches en débris de plantes, mais la matière végétale dont se composaient originairement ces plantes s'est totalement convertie en une matière nouvelle. Il est donc évident que la cause quelconque qui, par son action chimique, a converti de si grandes masses végétales en houilles, très énergique dans l'ori-

gine, s'est successivement ralentie, et a tout-à-fait disparu à l'époque où les derniers dépôts minéraux se sont formés.

Classification. — Les différentes variétés de houille passant les unes aux autres par nuances insensibles, comme les huiles, les graisses, les résines, etc., que fournissent les végétaux et les animaux, on ne peut pas les partager en espèces caractérisées et distinctes, ainsi que cela se fait pour les substances minérales; mais il est indispensable, pour l'étude, de les diviser en groupes artificiels. On doit distinguer d'abord, 1°. les houilles des terrains tertiaires : on les appelle *lignites*, parce qu'elles conservent souvent la structure du bois; 2° les houilles des terrains secondaires, arénacés ou calcaires : ce sont les *houilles proprement dites*; et, 3°. les houilles des terrains de transition, auxquelles on donne le nom d'*anthracite* à cause de la grande difficulté avec laquelle elles s'embrasent en général. On sous-divise ensuite les houilles de chacun de ces groupes, comme nous le dirons plus tard.

Lignites. Houilles. Anthracites.

Analyse immédiate. — Nous allons nous occuper successivement de l'examen des lignites, des houilles et de l'anthracite; mais auparavant nous avons quelques observations à présenter relativement aux moyens de faire l'analyse immédiate, et de déterminer le pouvoir calorifique des houilles en général.

Distillation. — Les houilles donnent à la distillation, comme les matières végétales, des gaz et des liquides aqueux et bitumineux, et elles laissent un résidu charbonneux auquel on donne le nom de *coke*; mais au lieu de se contracter sur elles-mêmes comme le font le bois et la tourbe, elles conservent leur volume sans se ramollir; ou bien, ce qui est beaucoup plus fréquent, elles éprouvent une demi-fusion, elles se boursouflent plus ou moins en se décomposant, et laissent un coke dont le volume est souvent beaucoup plus considérable que celui du combustible intact. Il faut avoir égard à cette propriété quand on chauffe une houille dans une

Précaution.

cornue ou même dans un creuset, et choisir un vase d'une grandeur telle, qu'il ne soit pas entièrement rempli par le coke qui restera à la fin de l'opération; sans quoi il arriverait ou que la matière s'épancherait pardessus les bords du vase, ou que la force d'expansion ferait rompre la cornue.

Pyrites mélangées. — De toutes les substances dont les houilles peuvent être mélangées, celle qui s'y trouve le plus communément est la pyrite ou persulfure de fer. Lorsqu'on carbonise la houille la pyrite se décompose en partie et se transforme en proto-sulfure qui reste dans le coke, et le soufre qui se dégage réagit sur la vapeur d'eau et produit du gaz hydrogène sulfuré, ou forme des combinaisons particulières avec les matières bitumineuses. Quand on brûle la houille la pyrite se grille; il se dégage de l'acide sulfureux, dont l'odeur très caractéristique fait aisément reconnaître la présence de ce minéral, et il reste de l'oxide rouge de fer mélangé avec les matières terreuses. Pour déterminer la proportion de pyrite contenue dans une houille on peut employer l'un des trois moyens suivans :

Eau régale. 1°. On fait chauffer la houille réduite en poudre avec une quantité suffisante d'eau régale, et quand cet acide ne dissout plus rien on étend d'eau et l'on filtre, puis l'on précipite par l'ammoniaque l'oxide de fer contenu dans la liqueur, et d'après le poids du précipité on calcule celui de la pyrite. On peut si l'on veut vérifier le résultat en précipitant l'acide sulfurique qui reste dans la dissolution, en ayant soin de sursaturer celle-ci d'acide acétique ou muriatique; mais dans ce cas il faut avoir l'attention de faire bouillir l'eau régale pendant longtemps sur la houille, afin d'acidifier tout le soufre. Il ne serait pas exact de conclure le poids de la pyrite du poids du résidu insoluble dans l'eau régale, parce qu'une partie de la houille se trouve attaquée par cet acide.

Incinération. 2°. On incinère complètement la houille, on pèse le résidu, on le fait bouillir avec de l'acide muriatique jusqu'à ce qu'il se décolore; on pèse la partie insoluble

calcinée, et l'on conclut par différence le poids de l'oxide de fer qui s'est seul dissous, et par suite on calcule la proportion de la pyrite. Ce moyen approximatif suppose, ce qui est effectivement le plus ordinaire, que la matière pierreuse n'est pas sensiblement ferrugineuse, et qu'elle ne renferme que des matières inattaquables par les acides lorsqu'elles ont été calcinées.

Après calcination.

3°. On calcine la houille dans un creuset, on pèse le coke, on le porphyrise et on le fait bouillir avec de l'acide muriatique jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de gaz hydrogène sulfuré ; tout le protosulfure de fer se dissout, et en pesant le résidu on en a la proportion par différence. On peut d'ailleurs déterminer cette proportion directement en faisant bouillir la dissolution avec de l'acide nitrique pour suroxider le fer, et précipitant celui-ci par l'ammoniaque. 100 de peroxide de fer équivalent à 152 de pyrite, et à 110 de sulfure.

Remarque.

Quand on veut avoir la proportion de matière combustible contenue dans une houille, il ne suffit pas de retrancher de celle-ci le poids de la cendre qu'elle fournit par sa combustion; mais quand cette cendre est ferrugineuse, il faut déterminer la quantité d'oxide de fer qu'elle renferme, et transformer par ce calcul le peroxide en persulfure. S'il s'agissait de l'analyse d'un *coke*, il faudrait calculer la quantité de protosulfure équivalente au peroxide.

Influence des pyrites.

Pouvoir calorifique. — La pyrite et le protosulfure de fer exercent sur la litharge la même action réductive que les matières combustibles : le soufre est changé en acide sulfureux qui se dégage, et le fer est oxidé au *minimum;* il se sépare donc du plomb métallique dont il faut tenir compte quand on veut déterminer le pouvoir calorifique d'une houille pyriteuse ou du coke qui en provient, par le moyen de la litharge : il suffit pour cela de retrancher du plomb total obtenu dans l'essai, celui qui a dû être produit par la pyrite ou par le protosulfure de fer. L'analyse de la houille étant faite, on détermine par le calcul cette dernière quantité de plomb,

en partant de cette donnée que 100 de pyrite produisent avec la litharge 840 de plomb, et que 100 de protosulfure de fer en produisent 720.

Pour que la matière charbonneuse des houilles soit complètement brûlée par la litharge il est nécessaire de porphyriser exactement la portion qui doit servir à l'essai. Cette précaution est plus indispensable encore lorsqu'on a à faire l'essai d'un coke : en outre, dans ce dernier cas, il faut chauffer lentement et graduellement, afin que la litharge ne puisse pas entrer en pleine fusion avant qu'elle ait eu le temps de brûler jusqu'à leur centre les petits grains de la substance combustible : si l'on ne prenait pas ce soin, il pourrait arriver que celle-ci, comme très légère, vînt nager à la surface du bain d'oxide fondu, et échappât à son action; ou qu'elle se brûlât non plus par l'oxigène de la litharge, mais en partie par l'air ambiant. Précaution.

ARTICLE II. — *Des lignites.*

Classification. — Les houilles des terrains tertiaires, c'est-à-dire des terrains qui sont de formation postérieure à la craie, se trouvent dans l'argile plastique et dans les calcaires d'eau douce. Ces combustibles diffèrent considérablement les uns des autres; aussi les minéralogistes en ont-ils fait un grand nombre de variétés. Nous ne décrirons pas toutes ces variétés, mais nous ferons connaître les principales. On peut distinguer : 1°. le *bois fossile;* 2°. le *bois bitumineux;* 3°. le *lignite commun* passant au bitume; et 4°. le *lignite terreux*. Les trois premières variétés sont à peu près pures; la quatrième est toujours très mélangée de substances terreuses.

§ 1er. — Lignites purs.

Bois fossile. — Le *bois fossile* a l'aspect et la couleur du bois intact, mais il est d'un brun plus ou moins foncé. Il a par sa nature beaucoup de rapports avec la tourbe. Il contient beaucoup d'eau, comme le bois or- Caractères.

dinaire, et selon M. Karsten, il perd jusqu'à 0,20 de son poids sans s'altérer, à la température de l'eau bouillante. A la distillation il donne la même quantité de gaz que le bois non altéré, mais il fournit moins d'eau, peu d'acide pyroligneux et plus d'alcool, et il ne répand pas l'odeur désagréable qui appartient à presque tous les lignites. La quantité de charbon qu'il laisse varie selon la température à laquelle s'opère la distillation, comme pour le bois ordinaire.

Propriétés.

Composition.

M. Karsten a trouvé le bois fossile de Bruhl, près de Bonn, bien sec, composé de

Carbone....	0,5497
Hydrogène..	0,0431
Oxigène.....	0,2647
Cendres.....	0,1425
	1,0000

Il donne à la distillation environ 0,380 de charbon, défalcation faite des cendres.

Caractères.

Bois bitumineux. — Le *bois bitumineux* a conservé la contexture du bois, mais il est devenu d'un brun foncé ou tout-à-fait noir, et il se rapproche beaucoup plus par sa nature des matières bitumineuses que du bois. Du reste il a les mêmes propriétés que le lignite proprement dit, dont il va être question plus loin. A Meissen en Hesse il y a une couche de bois bitumineux qui est recouverte par une épaisseur de plus de 100 mètres de basalte. Ce combustible est en morceaux plats qui ont la structure feuilletée du bois ; sa cassure en travers est conchoïde et luisante, sa couleur est le brun foncé ou le brun-noir, sa pesanteur spécifique est de 1,32. A la distillation il donne de l'eau acide, puis des huiles de plus en plus foncées, et qui répandent une odeur désagréable, analogue à celle de l'ognon brûlé ; il ne se ramollit pas et il laisse un charbon fort tendre. Lorsqu'on le brûle il décrépite un peu, répand de la fumée ; puis il produit une longue flamme jaune dont l'odeur est très désagréable, et il laisse un char-

Localités.

bon fort gonflé dans le sens de l'épaisseur des feuillets et qui s'incinère aussi facilement que du charbon de bois. Deux échantillons ont donné à l'analyse, Composition.

Charbon.....	0,441	—	0,371
Cendres.....	0,014	—	0,014
Matières liquides...	0,371	—	0,615
Gaz.....	0,174	—	
	1,000		1,000

Le second échantillon a produit 21,5 de plomb avec la litharge, d'où il suit que les matières volatiles équivalent à 0,27 de charbon.

Lignite commun. — Les *lignites communs* ressemblent beaucoup aux houilles des terrains secondaires. Ils sont noirs ou bruns, compactes, à cassure inégale et souvent conchoïde et luisante : dans ce dernier cas on leur donne souvent le nom de *jayet*, mais le véritable jayet que l'on travaille en bijoux n'est pas un lignite. Les lignites présentent souvent l'indice bien prononcé de la texture du bois. Leur pesanteur spécifique est d'environ 1,200. Ils renferment beaucoup moins d'eau hygrométrique que le bois fossile : à la température de l'eau bouillante ils ne perdent communément que 0,03 de leur poids. A la distillation ils donnent des gaz inflammables, de l'eau acide et des huiles, et ils répandent presque tous une odeur désagréable particulière, qui n'est pas la même que l'odeur bitumineuse, et qui est propre à les faire reconnaître. Le plus souvent ils ne se fondent pas, mais il y en a qui se ramollissent assez pour que les fragmens puissent se souder, et on en connaît qui deviennent fluides comme des huiles à une température peu élevée. Les lignites ramollissables et fusibles paraissent appartenir tous au terrain calcaire d'eau douce, et ils ont les plus grands rapports avec les bitumes mous ou liquides que l'on trouve dans les mêmes terrains, à Lobsann (Bas-Rhin), dans le département de l'Aisne, à Dax (Landes), etc. En général ils exhalent sous le frottement une odeur très désagréable. L'argile plastique

Caractères. Propriétés.

ne renferme au contraire que des lignites infusibles, et que le frottement ne rend pas odorans. La proportion de charbon que laissent les lignites dépend pour chacun d'eux de la température à laquelle la distillation a lieu, comme pour le bois.

Combustion. — Les lignites brûlent en général avec une flamme longue, peu chaude et mêlée de fumée, et leur combustion est accompagnée d'une odeur particulière désagréable, comme dans la distillation. Les matières étrangères que les lignites renferment à l'état de mélange, et qui produisent les cendres, sont les argiles, les sables, le carbonate de chaux et les pyrites.

Cendres.

Composition. — Six lignites soumis à l'analyse immédiate ont donné les résultats suivans :

	Utweiller. (1)	Allemagne. (2)	Charente. (3)	Saint Lon. (4)	L'Enfant-Dort. (5)	Minerac. (6)	Dauphin. (7)
Charbon.....	0,673	0,429	0,390	0,484	0,493	0,326	0,436
Cendres.....	0,009	0,046	0,110	0,056	0,039	0,100	0,074
Matières volatiles.....	0,318	0,525	0,500	0,460	0,468	0,574	0,490
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Lignite commun, jayet d'Utweiller,* rive droite du Rhin, vis-à-vis de Bonn (M. Karsten); compacte, noir, à cassure conchoïde luisante : il perd 0,05 d'eau à la chaleur de l'ébullition. Sa pesanteur spécifique est de 1,208. M. Karsten l'a analysé par le moyen de l'oxide de cuivre, et y a trouvé :

Carbone.....	0,7710
Hydrogène...	0,0255
Oxigène.....	0,1935
Cendres.....	0,0100
	1,0000

(2) *Lignite commun d'Allemagne;* compacte, d'un brun noir mat, luisant seulement dans quelques parties :

sa poussière est d'un noir brun; il donne 18,4 de plomb avec la litharge, d'où il suit que les matières volatiles équivalent à 0,11 de charbon. Les cendres sont briquetées.

(3) *Lignite d'Édon* (département de la Charente); jayet en plaques minces, compactes, d'un beau noir, à cassure conchoïde luisante; il est souvent accompagné de résines succiniques; il répand peu d'odeur en brûlant : les cendres se composent presque uniquement de chaux colorée par un peu d'oxide de fer. Il donne 17 de plomb avec la litharge; d'où il suit que les matières volatiles équivalent à 0,11 de charbon. Lorsqu'on le fait bouillir avec 10 fois son poids de potasse caustique dissoute dans une assez grande quantité d'eau, la liqueur devient très brune, et le résidu, qui est noir et désormais inattaquable, pèse 0,84.

(4) *Lignite de Saint-Lon* (département des Basses-Pyrénées). Selon M. Dufrénoy, il se trouve en couche peu épaisse, mais exploitable, dans le grès vert, immédiatement recouvert par de la craie. Il est d'un noir terne, à cassure unie et matte : à la distillation il donne beaucoup d'eau un peu acide, et ensuite des huiles très volatiles, très fluides, d'un jaune pâle, mais il ne produit pas du tout de goudron épais et brun. Par la calcination il devient plus friable et plus mat, sans changer de forme. Il donne 20,3 de plomb avec la litharge; d'où il suit que les matières volatiles équivalent à 0,11 de charbon.

(5) *Lignite de l'Enfant-Dort* (département des Bouches-du-Rhône); il forme, dans le calcaire d'eau douce, une couche que l'on exploite avec profit. Il est noir, à cassure inégale et éclatante; il renferme quelques pyrites; on l'emploie avec avantage, dans le pays, au travail de la forge. Il ne change pas de forme par la calcination. Il donne 21 de plomb avec la litharge; d'où il suit que les matières volatiles équivalent à 0,13 de charbon; ces matières se composent de 0,25 d'eau acide et d'huile, et de 0,218 de gaz combustibles. Les cendres renferment

de la chaux, de la magnésie, de l'argile et du fer. Ce lignite pourrait servir, comme les véritables houilles, à faire du coke pour l'usage des hauts-fourneaux.

Il y a des lignites de même nature et dans un gisement semblable, à Pingoin, près d'Aix, et à Vals (Basses-Alpes), mais ils contiennent beaucoup de matières terreuses : ces matières sont calcaires.

(6) *Lignite de Minerne*, près de la Canette (département de l'Aude); il se trouve dans un terrain de calcaire d'eau douce, comme le précédent. Il est compacte, d'un très beau noir éclatant, à cassure inégale ou conchoïde; sa poussière est d'un brun-noir; il exhale une odeur désagréable sous le frottement; il contient des pyrites. A la chaleur rouge, il se ramollit assez pour que les morceaux s'agglutinent en un seul, et il donne un coke grenu, un peu poreux et métalloïde; il brûle sans odeur désagréable. Il produit, avec la litharge, 22,8 de plomb. Les cendres sont violacées et renferment beaucoup d'oxide de fer et de la chaux.

(7) *Lignite de la grande mine*, commune de Dauphin (département des Basses-Alpes); provenant d'un terrain de calcaire d'eau douce : il est employé par les maréchaux. Ce lignite est compacte, noir, et d'un éclat gras, à cassure grenue presque lisse dans tous les sens; il renferme des pyrites; sa poussière est d'un brun clair; il exhale une odeur désagréable sous le frottement. Lorsqu'on le distille, il s'en dégage de l'eau acide, puis il se fond en un liquide noir qui se boursoufle beaucoup et dont il se dégage des huiles brunes et odorantes, et il reste un coke caverneux d'un beau gris métallique; les cendres sont violacées et ne contiennent pas de chaux. Il donne, avec la litharge, 25,3 de plomb; il est par conséquent très riche en matières combustibles.

Usages. — Quoique les lignites aient un assez grand pouvoir calorifique, comme ils renferment beaucoup de matières volatiles, on ne peut pas les employer dans les circonstances qui exigent une température très élevée.

§ 2. — Lignites terreux.

Les *lignites terreux* sont, ainsi que l'indique leur nom, des lignites qui sont mélangés d'une grande proportion de matières terreuses; ils sont d'un brun plus ou moins foncé et à cassure matte; ils renferment très souvent une quantité considérable de pyrites, et alors on les exploite comme minerais de couperose et d'alun, ou bien encore on les brûle, pour employer les cendres comme engrais.

Composition. — Cinq échantillons de lignite terreux ont été trouvés composés comme il suit :

	Allemagne. (1)	Chantilly. (2)	Menat. (3)	Bouxvillers. (4)	Reims. (5)
Matières combustibles.	0,825	0,803	0,650	0,440	0,110
Argile et sable.....	0,175	0,066	0,350	0,440	0,860
Pyrite.....	.....	0,131	.....	0,120	0,030
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Lignite terreux brun d'Allemagne.* Klaproth en a retiré, par distillation, 0,205 de gaz, 0,120 d'eau acidule, 0,300 d'huiles brunes, 0,130 d'argile et d'oxide de fer, 0,025 de sulfate de chaux et 0,020 de chaux.

(2) *Lignite vitriolique de Chantilly*, près de Paris; en partie fibreux et en partie terreux; intimement mélangé de pyrites. A la distillation il donne de l'eau, de l'acide pyroligneux, du carbonate d'ammoniaque, du sulfure de carbone et une très petite quantité de goudron; par calcination au creuset il laisse 0,454 de coke pulvérulent, sans changer de forme ni de volume. Lorsqu'on le fait bouillir dans une dissolution de potasse caustique, la partie combustible se dissout presqu'en totalité.

(3) *Lignite de Menat* (département du Puy-de-Dôme); schisteux, gris ou noir mat : il présente des empreintes de poissons, et l'on y voit des pyrites çà et là; il se trouve en couches horizontales, alternant avec des argiles schisteuses, dans un bassin creusé au milieu

d'un sol primitif; on le croit contemporain de l'argile plastique. Par la calcination, il donne 0,54 de charbou tendre très argileux, qui renferme 0,35 de son poids de matière combustible, et que l'on emploie avec avantage pour décolorer les sirops, comme le charbon animal. Ce lignite, brûlé en morceaux, se change en une matière terreuse légère, à grains très fins, de couleur briquetée, qui sert pour polir, sous le nom de *tripoli*.

(4) *Lignite pyriteux de Bouxvillers* (département du Bas-Rhin); il forme une couche puissante recouverte de calcaire d'eau douce : on l'exploite comme minerai d'alun. Il est compacte, couleur chocolat clair, mat. Par calcination en vase clos il devient noir sans changer de forme, et laisse un résidu de 0,555, qui contient 0,10 de charbon, 0,09 de protosulfure de fer, et 0,365 d'argile ne contenant pas de chaux.

(5) *Lignite de Reims*, dit *cendres de Reims*, ou *graisse minérale*, parce qu'on l'emploie comme engrais. Il est compacte, tendre et d'un brun de chocolat clair. Par calcination il laisse un résidu noir qui pèse 0,74, et qui ne contient pas plus de 0,03 de charbon. Il s'incinère sans combustion apparente : les cendres contiennent du sable quarzeux. La matière combustible est soluble dans la potasse caustique et se comporte comme l'ulmine.

ARTICLE III. — *Des houilles proprement dites.*

§ 1er. — Propriétés physiques.

Caractères. — Les houilles proprement dites, c'est-à-dire celles qui se trouvent dans les terrains secondaires, sont en général d'un beau noir presque toujours éclatant : leur cassure est conchoïde, inégale, lamelleuse ou schisteuse; elles sont fragiles et peu dures; leur poussière est noire ou d'un brun très foncé. Leur densité varie de 1,16 à 1,60. L'hectolitre de houille en morceaux pèse 80 à 90 kilogrammes. — A Rive-de-Gier ce poids est de 80 à 85 kilogrammes pour la houille menue, 80 kilogrammes pour le mélange de menus et de gros morceaux ou *marl-*

Pesanteur spécifique.

borough, et 65 à 66 kilogrammes seulement pour la houille *grêle*, c'est-à-dire en morceaux sans mélange de menue. — A Paris on porte le poids de l'hectolitre de 70 à 77 kilogrammes. — Lorsqu'on mesure à l'hectolitre enfêté, le poids peut s'élever jusqu'à 100 kilogrammes. — A Gleivitz en Silésie, le mètre cube de houille pèse 798 kilogrammes.

Hygrométricité. — Les houilles sont très peu hygrométriques; cependant elles diminuent sensiblement de poids lorsqu'on les soumet à la température de l'eau bouillante; la perte s'élève tout au plus à 0,05, et elle n'est souvent que de 0,01. Quand on plonge les houilles dans l'eau, elles absorbent une quantité plus ou moins considérable de ce liquide (0,10 à 0,60) par voie de capillarité, et elles se dilatent sensiblement.

Matières mélangées. — Il est très rare de rencontrer les houilles dans un état de pureté parfait : elles admettent en mélange un assez grand nombre de substances.

Argile.

1°. Celle qui s'y trouve le plus communément est l'*argile*, ou plutôt la matière terreuse qui forme le toit et le mur des couches; matière qui est presque toujours essentiellement composée de silice et d'alumine, mais qui peut contenir aussi de la potasse, due à des fragmens de feldspath décomposé, de la magnésie et de l'oxide de fer. Le mélange de la matière argileuse est intime et invisible à l'œil, et ne se fait reconnaître, quand il est en proportion considérable, que par la grande dureté et la ténacité qu'il communique à la houille.

Carbonate de chaux.

2°. Le *carbonate de chaux* se trouve intimement mêlé dans les houilles, comme l'argile; mais cela est rare, parce que les couches combustibles sont presque toujours immédiatement intercalées entre des roches argileuses, même dans les terrains calcaires. Le carbonate de chaux, au lieu d'être intimement mélangé dans les houilles, s'y rencontre assez fréquemment en parties séparées cristallines, ou en minces feuillets disposés entre les lames.

Carbonate de fer.

3°. On sait que le *fer carbonaté* argileux accompagne habituellement les houilles de toutes les formations, et que c'est dans les couches d'argile qui avoisinent les

houilles qu'il se trouve le plus souvent; mais on en rencontre aussi dans les couches de houille elles-mêmes, en rognons de diverses grosseurs, et l'on remarque que ces rognons sont ordinairement les plus riches. Ce minéral ne s'est jamais présenté en mélange intime avec la matière combustible, comme l'argile et le carbonate de chaux.

Pyrite. 4°. Après ces trois substances, la *pyrite* est malheureusement celle qui se trouve le plus fréquemment dans les houilles, elle nuit beaucoup à leur qualité : premièrement, en se décomposant et se transformant en sulfate par le contact de l'air humide, elle produit une expansion qui fait tomber la houille en menus débris ou en poudre; ensuite, la décomposition ayant lieu avec une élévation de température qui peut être considérable, il en résulte souvent que la houille s'enflamme, soit dans les magasins, soit dans les excavations des mines abandonnées et peu fréquentées : on voit souvent des incendies considérables se manifester par cette cause. En troisième lieu, les houilles pyriteuses ne peuvent servir qu'à un petit nombre d'usages, parce que le soufre qu'elles renferment corrode peu à peu le fond des chaudières, les tuyaux, etc., et qu'il altère la qualité des métaux, le fer par exemple, avec lesquels on met le combustible en contact. La pyrite se trouve dans les houilles, soit en parties séparées amorphes ou cristallines, soit en lamelles intercalées dans les fissures, soit en enduits à la surface des feuillets ou des lames.

Autres substances. 5°. Outre les substances que nous venons de nommer, on trouve quelquefois dans les houilles de la *galène*, de la *blende*, du *cinabre*, du *sulfate de chaux*, du *sulfate de baryte*, de la *dolomie*, du *phosphate de chaux* en rognons, comme le carbonate de fer, et un *hydrosilicate d'alumine* d'une composition particulière, que M. Guillemin a nommé *pholérite*.

Oxide de titane. Enfin, on a observé dans quelques houilles, en Angleterre, de l'*oxide de titane* en cristaux rouges transparens, petits, mais parfaitement formés. C'est ordinairement dans les fissures des rognons de fer carbonaté

argileux qui gisent au milieu de la houille, que l'on observe ces cristaux. Il est probable que l'oxide de titane existe en petite quantité dans la plupart des houilles; car on remarque que tous les hauts-fourneaux qui sont alimentés avec du coke, ou dans lesquels on fond du fer carbonaté des houillères, produisent du titane métallique.

Houilles à feu grisou. — Il y a des houilles qui, dès qu'elles sont excavées dans la mine, donnent lieu à un dégagement de gaz que les mineurs appellent *feu grisou*, dont l'émission se continue spontanément et pendant un assez long temps. Ce dégagement est accompagné d'un léger craquement qui annonce un commencement de désassociation entre les parties de la houille : il est dû probablement à la diminution de pression qui se manifeste au moment où les masses sont mises à découvert par l'exploitation. On ignore si le gaz était primitivement comprimé entre les molécules de la houille, ou s'il provient d'un commencement de décomposition de ce combustible. Toutes les houilles ne sont pas sujettes au feu grisou : ce sont en général les plus grasses et les meilleures qui le produisent.

Nature du gaz.

Le gaz qui se dégage spontanément des houilles est partout identique; c'est de l'hydrogène protocarboné pur, gaz plus léger que l'air dans le rapport de 0,555 à 1,000. Il expose les ouvriers à d'extrêmes dangers, d'abord parce qu'il n'est pas respirable, mais surtout par la propriété qu'il a de s'enflammer avec explosion au contact du feu des lampes et de tous les corps embrasés, lorsqu'il est mêlé avec sept fois au moins et treize fois au plus son volume d'air. On voit souvent l'inflammation se propager presque instantanément dans toute l'étendue d'une mine, mettre le feu à tous les étais, et produire une explosion si terrible, qu'il est arrivé que des tonnes ont été lancées à une grande hauteur hors des puits, comme un boulet d'un mortier. Pour éviter ces effroyables accidens il faut établir à travers les excavations un tirage très actif, afin d'en enlever le gaz à mesure qu'il prend naissance, et de le délayer dans

Mélanges explosifs.

une telle quantité d'air, qu'il cesse de devenir inflammable au contact des lumières.

Lampe de Davy. Davy a inventé une lampe que l'on peut tenir allumée sans danger au milieu des mélanges les plus détonans. Cet ingénieux instrument est un des plus beaux présens que l'on ait pu faire à l'art des mines : il suffirait pour prévenir tous les accidens, si les ouvriers s'astreignaient à s'en servir exclusivement et avec les précautions convenables.

§ 2. — Distillation.

Produits. — Les houilles donnent à la distillation des gaz combustibles, de l'eau souvent ammoniacale, des huiles empyreumatiques bitumineuses, et laissent un résidu charbonneux ou *coke*. M. Karsten s'est assuré que leur décomposition ne commence qu'à la chaleur rouge naissante, et ne s'achève qu'au rouge presque blanc. La plupart des houilles se fondent ou se ramollissent en se dé-

Houilles grasses. composant : on les nomme alors *houilles grasses;* elles laissent un coke boursouflé ou fritte; mais il y en a qui conservent leur forme et ne s'agglomèrent pas quand elles

Houilles sèches. sont en poudre ; on appelle ces dernières *houilles sèches*. Les houilles sèches donnent à la distillation plus d'eau et moins d'huile que les houilles grasses.

Influence de la température. — La quantité de coke que laisse une houille varie avec la température, mais la différence est peu considérable ; et rarement une houille chauffée lentement donne 0,06 de charbon de plus que lorsqu'on la chauffe brusquement et fortement. On remarque que, lorsque la carbonisation se fait à une chaleur graduée, le coke est moins boursouflé que quand la calcination est brusque. Les houilles les plus médiocres produisent au moins 0,45 de coke.

Gaz d'éclairage. — Depuis un certain temps on emploie pour l'éclairage les gaz qui se dégagent de la houille

Nature. par la distillation. Ces gaz sont des mélanges, en proportions très variables, d'hydrogène carboné, de gaz oléfiant, d'hydrogène pur, d'oxide de carbone, d'acide carbonique,

d'azote, d'hydrogène sulfuré, peut-être de sulfure de carbone, de vapeurs huileuses et d'un peu d'ammoniaque. La proportion relative de ces différentes substances dépend de la nature de la houille et du degré de chaleur auquel on la soumet; elle n'est pas non plus la même aux différentes époques de l'opération : la proportion du gaz oléfiant diminue à mesure que la distillation approche de son terme. Les houilles chauffées seulement à 370° donnent beaucoup de goudron et peu de gaz, et ce gaz est très peu éclairant. Chauffées très fortement, elles donnent au contraire beaucoup de gaz; mais, comme dans le premier cas, ce gaz est très peu éclairant. On a reconnu que la température la plus convenable pour obtenir le gaz le plus éclairant est le rouge cerise vif. Influence de la température.

Les houilles produisent en général beaucoup moins de gaz que les lignites; mais ce gaz répand plus de lumière en brûlant. Les houilles distillées en grand, dans les établissemens d'éclairage, fournissent 180 à 200 litres et quelquefois 250 litres de gaz par kilogramme. Les huiles que l'on distille souvent aussi pour cet usage, donnent 800 litres de gaz par kilogramme, et à volume égal, ce gaz est trois fois au moins aussi éclairant que celui de la houille. Il faut environ 2,300 litres de ce dernier pour produire autant de lumière que 1 kilogramme de chandelle. Ces gaz sont d'autant plus éclairans qu'ils consomment plus d'oxigène en brûlant. Volume produit. Pouvoir éclairant.

Les gaz qui proviennent de la distillation de la houille détonent facilement au contact des corps embrasés, lorsqu'ils sont mêlés avec du gaz oxigène ou avec de l'air; mais la détonation cesse d'être possible quand le mélange renferme moins de 3,75 ou plus de douze fois autant d'air que de gaz combustible. Pour que le gaz de l'huile ne puisse pas détoner, il faut qu'il soit mélangé avec moins de huit fois et plus de vingt fois son volume d'oxigène. Mélanges explosifs.

Avant d'appliquer le gaz de la houille à l'usage de l'éclairage, on le purifie par le moyen de la chaux, pour le dépouiller autant que possible des vapeurs d'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré qu'il contient. Purification.

Parmi les substances dont se composent les gaz d'éclairage purifiés, il y en a qui sont absorbés par le chlore, même dans l'obscurité; ce sont le gaz oléfiant et les vapeurs d'huile; et d'autres qui ne le sont pas, savoir : l'hydrogène, l'hydrogène protocarboné, l'oxide de carbone et l'azote. M. Henry, de Manchester, s'est servi de ce moyen pour en faire l'analyse. Nous donnons ici les résultats comparatifs qu'il a obtenus pour le gaz de l'huile et le gaz de la houille, recueillis à différentes époques de la distillation.

numéros.	Densités des gaz purs.	100 VOLUMES DE GAZ							Densités des gaz traités par le chlore.
		Consomment	Produisent	CONTIENNENT					
		Oxigène.	Acide carbonique.	Gaz absorbé par le chlore.	Hydrogène protocarboné.	Oxide de carbone.	Hydrogène.	Azote.	
(1)	0,464	116	61	6	28,2	14,1	45,1	6,8	0,410
(2)	0,590	178	100	19	32,4	12,2	32,4	4	0,440
(3)	0,758	220	130	22,5	50,3	15,5	7,7	4	0,614
(4)	0,906	260	158	38	46,5	9,5	3	3	0,606
(5)	0,650	217	128	13	82,5	3,2	0	1,3	0,575
(6)	0,620	194	106	12	72	1,9	8,8	5,3	0,527
(7)	0,630	196	108	12	58	12,3	16	1,7	0,533
(8)	0,500	166	93	7	56	11	21,3	4,7	0,450
(9)	0,345	78	30	0	20	10	60	10	0,345

(1), (2) *Gaz* obtenu en faisant tomber de l'huile goutte à goutte dans un tube de fer chaud et rempli de fragmens de creusets.

(3) *Gaz* obtenu, comme ci-dessus, à une température à peine suffisante pour opérer la décomposition de l'huile.

(4) *Gaz* provenant d'un établissement d'éclairage de Londres, dans lequel on distille de l'huile de morue.

(5), (6), (7), (8), (9) *Gaz* recueillis dans un établissement d'éclairage de Londres, où l'on distille de la houille dite *cannecoal*. Les trois premiers ont été produits dans la première heure de la distillation, le quatrième (8) au

commencement de la sixième heure, et le dernier (9) après dix heures de feu.

La portion du gaz qui est absorbable par le chlore est très riche en carbone; elle consomme quatre et demi à cinq fois son volume d'oxigène, et produit deux et demi à trois fois son volume d'acide carbonique.

Les gaz de la houille non purifiés contiennent jusqu'à 0,03 d'hydrogène sulfuré et 0,06 d'acide carbonique.

Produits liquides. — Le liquide aqueux qui provient de la distillation de la houille contient presque toujours du carbonate d'ammoniaque, et assez souvent du sulfate et du muriate d'ammoniaque. Les matières huileuses, ou *goudron minéral*, se composent de *pyrélaïdes* et de *pyrétines*, que l'on peut séparer les unes des autres par le moyen des distillations répétées avec de l'eau. Les pyrétines qui restent après la distillation diffèrent de celles que donne le bois, en ce que ces dernières sont acides, tandis qu'au contraire les premières sont presque toujours combinées avec de l'ammoniaque. Les pyrélaïdes de la houille sont jaunes et ressemblent au pétrole; leur pesanteur spécifique est de 0,77; elles sont très volatiles, brûlent avec flamme et fumée, et dissolvent très bien le caoutchou.

Eau acide.

Goudron.

Lorsqu'on distille du goudron de houille à une température graduée, il passe d'abord une huile limpide légèrement colorée en jaune, qui contient beaucoup de *naphtaline*, puis une huile qui se solidifie à une température voisine de zéro, et qui contient à la fois de la *napthaline* et de la *paranapthaline*. Le troisième produit est une substance jaune qui se condense en une masse visqueuse ou grenue d'un jaune-orange, d'une odeur très forte et très désagréable; il ne renferme pour ainsi dire que de la paranapthaline, enfin la matière se gonfle en laissant dégager cette matière semblable au réalgar, qui a été observée par M. Robiquet dans d'autres distillations analogues. Si l'on chauffe le goudron jusqu'à ce qu'il ne s'en dégage plus rien, il laisse pour résidu une masse de charbon infusible; mais si l'on arrête l'opération au

moment où le boursoûflement commence à se manifester, on obtient une masse résineuse d'un brun-noir éclatant, qui se solidifie par le refroidissement, et qui est susceptible de se mouler à chaud et de recevoir les empreintes les plus délicates.

Naphtaline. La *naphtaline* est solide, blanche, susceptible de cristalliser, par condensation de ses vapeurs, en aiguilles neigeuses ou en plaques rhomboïdales dont les angles sont d'environ 102° et 78°, plus pesante que l'eau, d'une odeur analogue à celle du narcisse, et d'une saveur piquante. Elle fond à 79°, et bout à 212; la densité de sa vapeur est de 4,28, 1 litre pèse 5^{gr},882. On peut la distiller avec l'eau; elle brûle difficilement et avec fumée; elle est insoluble dans l'eau froide, et un peu soluble dans l'eau bouillante; elle est presque insoluble dans l'alcool à froid, mais elle se dissout bien dans l'alcool bouillant; elle est soluble dans l'éther, les huiles grasses et les huiles essentielles; les acides muriatique, acétique ét oxalique, la dissolvent à chaud en prenant la couleur de l'œillet mais ils l'abandonnent par le refroidissement. L'acide nitrique la transforme en une substance aiguillée jaune; elle forme avec l'acide sulfurique concentré un composé analogue à l'acide sulfovinique. Elle se combine avec le chlore et avec le brôme, mais elle est sans action sur l'iode, le soufre et le phosphore. Elle est composée, selon M. Faraday, de

Carbone.....	0,9376	—	5 atomes.
Hydrogène.....	0,0624	—	4

Selon M. Dumas, elle renferme 10 volumes de carbone et 4 volumes d'hydrogène. La découverte en est due à M. Kidd, qui l'a obtenue en faisant passer du goudron de houille à travers un tube incandescent. Il paraît certain qu'elle existe toute formée dans le goudron, peut-être même fait-elle partie de la houille. Selon M. Laurent, on l'extrait des huiles du goudron en les refroidissant à — 10°, et lavant à froid avec de l'alcool, ou, ce qui est préférable, en traitant ces huiles par le chlore. Pour cela

on fait passer du chlore gazeux à travers pendant plusieurs jours, la matière s'échauffe, devient noire, et il s'en dégage des vapeurs muriatiques d'une odeur désagréable; on la lave avec de l'eau, on la distille, et l'on purifie la naphtaline, qui se condense encore avec des huiles, en la refroidissant à — 10° et la lavant avec de l'alcool; enfin on la dissout dans de l'alcool bouillant, et on la laisse déposer par refroidissement.

Paranaphtaline. La *paranaphtaline* est en grains cristallins incolores; elle n'entre en fusion qu'à 180°, et elle ne bout qu'à une température supérieure à 300°; elle est insoluble dans l'eau, et à peine soluble dans l'alcool et dans l'éther; son meilleur dissolvant est l'essence de térébenthine; elle se dissout aussi dans l'huile sulfurique, qu'elle colore en vert sale; l'acide nitrique l'attaque avec dégagement de gaz nitreux. Elle a la même composition pondérable que la naphtaline; mais, d'après la densité de sa vapeur, qui est de 6,741, selon M. Dumas, elle doit être formée de 15 volumes de carbone et 6 volumes d'hydrogène. On l'extrait du second produit de la distillation du goudron, en le refroidissant à — 10°, et le lavant avec de l'alcool.

Usage du goudron. Le goudron de la houille est excellent pour enduire les corps que l'on veut préserver de l'action de l'air et de l'humidité, tandis que l'on ne peut pas employer le goudron du bois pour le même usage, à cause de son acidité.

§ 3. — Combustion.

Les houilles brûlent avec une flamme jaunâtre accompagnée de fumée et en répandant une odeur bitumineuse caractéristique, et qui n'a rien de désagréable. La flamme dure plus ou moins long-temps, selon la nature de la houille, et quand elle a disparu il reste un coke incandescent qui continue à brûler si la température du foyer est suffisamment élevée. Pendant leur combustion, tantôt les houilles se ramollissent et s'arrondissent sur les angles, tantôt elles se fondent tout-à-fait et se boursouflent alors beaucoup, tantôt au contraire elles

ne se déforment pas, quelquefois enfin elles se fendillent ou s'exfolient, mais sans éprouver de ramollissement.

§ 4. — Pouvoir calorifique.

Comme la composition des houilles est très variable, leur pouvoir calorifique doit l'être beaucoup aussi : cependant, pour les houilles communes et réputées de bonne qualité dans les arts, il est, terme moyen, à peu près le même que celui du charbon de bois, et par conséquent double de celui du bois sec. Suivant M. Dolfus, dans les ateliers de Mulhausen la houille de Ronchamp vaporise cinq fois son poids d'eau. — Dans les salines, pour évaporer 1 partie d'eau l'on consomme 0,15 à 0,20 de houille. — Watt comptait dans les calculs de machines à feu, sur une consommation de 1 p. de bonne houille pour la production de 7 $\frac{1}{2}$ p. de vapeur d'eau. — Selon Black, dans un appareil bien disposé, la houille de Newcastle, qui est une des meilleures que l'on connaisse, vaporise 8 p. d'eau. — Des expériences faites à Paris avec diverses espèces de houilles sur de l'eau déjà chauffée à 100°, ont donné 8 $\frac{1}{2}$ à 10 $\frac{1}{2}$ p. de vapeur pour 1 p. de combustible. — Dans les verreries à bouteilles, il faut 2 p. de bois pour remplacer 1 p. de houille. — Dans les cristalleries où l'on n'emploie que des bois très secs, 1,66 p. de ce combustible équivalent à 1 p. de houille. — Pour fondre 1000 de fonte de fer au four à réverbère, il faut 500 à 600 de houille, et pour obtenir 1000 de fonte moulée, il faut, à cause des déchets, environ 800 de ce combustible. Dans les ateliers métallurgiques on admet que le pouvoir calorifique de la houille est à celui du bois :: 5 : 1, à volumes égaux, et :: 15 : 8 à poids égaux.

Données d'expériences.

Rayonnement. — M. Péclet s'est assuré que le pouvoir rayonnant de la houille est supérieur à celui du bois.

§ 5. — Classification.

Avant de faire connaître le résultat des différentes analyses que l'on a faites des houilles, nous devons

donner une idée des classifications qui sont les plus usitées.

Selon les minéralogistes. — Les minéralogistes, qui classent les corps principalement d'après leur aspect, divisent les houilles en six variétés, savoir : 1°. les *houilles schisteuses;* 2°. les *houilles piciformes;* 3°. les *houilles compactes,* semblables à celle de Kilkenny, en Irlande; 4°. les *houilles lamelleuses;* 5°. les *houilles esquilleuses,* et 6°. les *houilles grossières.*

Selon M. Thomson. — M. Thomson en fait quatre groupes, ainsi que la plupart des savans anglais. Ces groupes sont établis d'après les propriétés générales : il est donc bon de connaître leurs caractères. Les houilles du premier groupe portent le nom de *houilles collantes* (coaking-coal); celles du second se nomment *houilles esquilleuses* (splint-coal); celles du troisième, *houilles molles* (cherry-coal), et celles du quatrième, *houilles compactes* (cannel-coal).

La *houille collante* est d'un noir de velours quelquefois grisâtre; elle a le brillant de la résine. Sa cassure principale est schisteuse, et sa cassure en travers grenue ou conchoïde, et présente souvent la texture du charbon de bois : ses fragmens ont une forme à peu près cubique. Lorsqu'on chauffe cette houille elle se brise en petits morceaux, puis ceux-ci se fondent, s'agglutinent, et brûlent avec une flamme jaunâtre très vive, et en produisant une très grande chaleur. La combustion dure long-temps, et il est nécessaire de l'activer en brisant la masse pour faciliter l'accès de l'air.

La *houille esquilleuse* est d'un noir un peu brun; elle a le brillant de la résine. Sa cassure principale est feuilletée à feuillets un peu courbes, sa cassure en travers est grenue et esquilleuse; ses fragmens sont anguleux. Cette houille n'est pas dure, mais assez difficile à casser. Sa pesanteur spécifique est de 1,29. Elle exige une température élevée pour entrer en combustion; aussi ne peut-on l'employer qu'en grandes masses; elle brûle lentement, avec flamme, et produit une très forte chaleur. Elle donne un coke qu'on dit être excellent pour fondre les minerais de fer.

La *houille molle* est d'un noir de velours, avec une légère teinte de gris, tantôt éclatante et tantôt brillante : elle est tendre et extrêmement fragile ; sa cassure en travers est unie, conchoïde et très éclatante, et elle a quelquefois l'aspect du charbon de bois. Ses fragmens ont une forme à peu près cubique. Sa pesanteur spécifique est de 1,265. Elle s'embrase très facilement, brûle avec flamme et se consume promptement ; la flamme continue à peu près pendant toute la durée de la combustion. Cette houille produit une chaleur très forte, mais elle ne peut pas servir aux mêmes usages que la houille collante, parce qu'elle ne se ramollit pas comme celle-ci; on peut cependant l'employer pour fondre les minerais de fer.

La *houille compacte* est d'un noir foncé tirant sur le gris ou sur le brun : elle a le brillant de la résine. Elle est à peu près aussi dure que la houille esquilleuse, mais elle est plus fragile. Elle ne tache pas les doigts. Elle est susceptible de prendre un très beau poli; on en fait des encriers, des tabatières, etc. Sa cassure est légèrement conchoïde. Ses fragmens sont tantôt cubiques, tantôt anguleux, tantôt irréguliers. Sa pesanteur spécifique est de 1,272. La chaleur la divise en feuillets aussi minces que ceux d'un livre. Elle prend feu à la flamme d'une chandelle, et elle brûle sans se fondre, et en répandant jusqu'à la fin une flamme jaunâtre très vive; de là son nom anglais de *cannel-coal.*

Selon M. Karsten. — M. Karsten classe les houilles d'après la nature du coke qu'elles donnent à la distillation. Il en distingue trois sortes : 1°. Les houilles à *coke boursouflé;* 2°. les houilles à *coke fritté,* et 3°. les houilles à *coke pulvérulent.* Les deux premières sortes constituent ce que l'on nomme les *houilles grasses*, et la troisième sorte se rapporte à la classe des *houilles maigres.* Cette classification satisfait pleinement aux besoins de la métallurgie.

§ 6. — Analyse médiate.

Résultats de M. Ure. — M. le docteur Ure, de Glas-

cow, a analysé deux houilles d'Angleterre en les traitant par l'oxide de cuivre, et il a trouvé

	Dans la houille esquilleuse.		Dans la houille compacte.
Carbone.....	0,709	—	0,722
Hydrogène...	0,043	—	0,039
Oxigène.....	0,248	—	0,211
Azote.	.....	—	0,021
	1,000		0,993

Résultats de M. Karsten. — M. Karsten a analysé, aussi par le moyen de l'oxide de cuivre, six variétés de houilles d'Allemagne et deux variétés d'Angleterre, et il a recherché en même temps quelle proportion de coke elles donnent à la distillation. Voici ses résultats; les houilles avaient été préalablement desséchées à la chaleur de l'eau bouillante.

	A coke très boursouflé.			A coke boursouflé.		A coke fritté.		A coke pulvérulent.
	Kilkenny. (1)	Lamark (2)	Eschweiler. (3)	Wellesweiler. (4)	Newcastle. (5)	Beulthen. (6)	Lamark. (7)	Brzenskonitz. (8)
Carbone...	0,7447	0,8768	0,8916	0,8132	0,8426	0,7839	0,9210	0,7388
Hydrogène.	0,0540	0,0321	0,0320	0,0323	0,0320	0,0321	0,0111	0,0276
Oxigène....	0,1961	0,0811	0,0645	0,1462	0,1267	0,1777	0,0579	0,2048
Cendres ...	0,0050	0,0100	0,0118	0,0100	0,0086	0,0063	0,0100	0,0288
	0,9998	1,0000	1,9999	1,0017	1,9999	1,0000	1,0000	1,0000
Coke.....	0,5230	0,8079	0,8340	0,6800	0,7040	0,6865	0,9056	0,6480

(1) *Houille compacte* (cannel-coal) *de Kilkenny*, en Irlande (kennelkohle de Werner) : sa pesanteur spécifique est de 1,1652.

(2) *Houille lamelleuse tendre du comté de Lamark*, en Westphalie (blœllerkohle de Werner) : sa pesanteur spécifique est de 1,2757.

(3) *Houille lamelleuse tendre d'Eschveiller*, près d'Aix-la-Chapelle : sa pesanteur spécifique est de 1,3005.

(4) *Houille schisteuse* passant à la houille piciforme de Wellesweiler, près de Saarbruck : sa pesanteur spécifique est de 1,2677.

(5) *Houille intermédiaire* entre la houille lamelleuse et la houille piciforme, de Newcastle, en Angleterre : sa pesanteur spécifique est de 1,2563. On dit que les houilles de Newcastle produisent à la distillation 0,09 d'eau chargée de carbonate et de sulfate d'ammoniaque, et dont on se sert pour fabriquer du sel ammoniac.

(6) *Houille schisteuse* passant à la houille compacte de Beulthen, en Silésie (schieferkohle de Werner) : sa pesanteur spécifique est de 1,2846.

(7) *Houille lamelleuse*, presque vitreuse, du comté de Lamark, en Westphalie : sa pesanteur spécifique est de 1,3065.

(8) *Houille schisteuse de Brzenskonitz*, en Silésie (schieferkohle de Werner) : sa pesanteur spécifique est de 1,3098; elle perd 0,13 par la dessiccation.

Observations. Ces analyses laissent à désirer, parce qu'on n'a pas recherché l'azote qui existe certainement en quantité très notable dans plusieurs houilles, et aussi parce qu'il ne paraît pas que l'on se soit assuré que la matière charbonneuse ait été complètement brûlée par l'oxide de cuivre; condition essentielle, et qu'il est très difficile d'obtenir. Néanmoins, même en ne considérant les résultats précédens que comme approximatifs, on est en droit d'en tirer les conséquences suivantes, qui ont été présentées par M. Karsten.

Conséquences. La propriété des houilles de donner du coke boursouflé dépend de la proportion relative de l'hydrogène et de l'oxigène. Plus il y a d'hydrogène, plus les houilles sont fusibles, et plus le coke qu'elles produisent est boursouflé; les houilles très oxigénées au contraire ne se ramollissent pas et donnent du coke pulvérulent. Un noir intense, un éclat vif, une grande dureté, annoncent que le carbone est en grande proportion dans la houille, et que l'oxigène domine beaucoup sur l'hydrogène. L'éclat de la poix indique une moindre teneur de carbone; l'éclat vitreux, une plus grande teneur; un vif éclat, peu de consistance et peu de dureté, annoncent beaucoup de carbone, mais un accroissement de l'hydrogène par rapport à l'oxigène. Le noir, un

aspect mat, une fermeté marquée et une certaine dureté, indiquent une moindre richesse en carbone, et que la proportion de l'oxigène l'emporte de beaucoup sur celle de l'hydrogène. Enfin la couleur brune noirâtre dénote un grand accroissement dans la proportion de l'hydrogène.

§ 7. — Analyse immédiate et pouvoir calorifique.

Nous donnons ici en forme de tableaux le résultat de l'analyse immédiate d'un grand nombre de houilles de France et des houilles étrangères les plus renommées, et nous faisons connaître pour un certain nombre leur pouvoir calorifique, déterminé au moyen de la litharge, et la quantité de carbone à laquelle équivalent les matières qui se dégagent par la distillation.

Houilles grasses de France.

	Bourg-Lastic. (1)	Anzin. (2)	Fondary. (3)	Baderen. (4)	Saint-George. (5)	Le Creusot. (6)	Fins. (7)
Charbon.....	0,771	0,715	0,715	0,684	0,656	0,654	0,647
Cendres.....	0,058	0,035	0,072	0,091	0,134	0,034	0,057
Matières volatiles.....	0,171	0,250	0,213	0,225	0,210	0,312	0,296
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

	Décize. (8)	Commentry. (9)	Balayre. (10)	Lessalle. (11)	Durban. (12)	Carmeaux. (13)	Alais. (14)
Charbon.....	0,611	0,600	0,585	0,506	0,490	0,715	0,680
Cendres.....	0,089	0,060	0,031	0,070	0,175	0,035	0,104
Matières volatiles.....	0,300	0,340	0,384	0,424	0,335	0,250	0,216
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge....	.....	.....	.....	.....	.....	30,1	27,6
Charbon équivalant aux matières volatiles.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,18	0,135

	Rive de Gier. (15)	Bességes. (16)	Ronchamp. (17)	Épinac. (18)	Épinac. (19)	Bélestat. (20)	Jayet. (21)
Charbon.....	0,665	0,605	0,570	0,540	0,515	0,242	0,368
Cendres.....	0,020	0,103	0,070	0,140	0,120	0,035	0,010
Matières volatiles.....	0,315	0,292	0,360	0,320	0,265	0,723	0,622
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge....	29,6	27,0	27.3	25,4	26,8	24,4	23,3
Charbon équivalant aux matières volatiles.....	0,21	0,19	0,24	.....	0,27	0,48	0,30

(1) *Houille de Bourg-Lastic* (Puy-de-Dôme); schisteuse et d'un beau noir éclatant : elle donne 0,09 de gaz à la distillation. Elle colle et se boursoufle, et brûle en produisant une flamme qui dure peu et laisse des cendres parfaitement blanches, ce qui prouve qu'elle n'est pas pyriteuse. Elle serait excellente pour faire du coke.

(2) *Houille d'Anzin* (Nord) (M. Chevalier); elle se casse régulièrement, et offre deux sens de divisions qui sont perpendiculaires entre eux. Sa pesanteur spécifique est de 1,284. Elle est grasse, collante, se boursoufle sur la grille et fait voûte, peu sulfureuse. On l'emploie pour les chaudières et pour la grille. On peut en faire du coke; mais elle est médiocrement propre au travail de la forge.

(3) *Houille de Fondary*, près de Brassac (Haute-Loire) (M. Fournet); elle s'allume difficilement, colle bien, brûle avec une flamme vive et claire, et répand une forte chaleur; elle fournit du coke bien aggloméré. Elle convient pour les grands foyers qui exigent une haute température.

(4) *Houille de Baderen*, près de Schelestadt (Haut-Rhin); elle est d'un noir éclatant, à cassure conchoïde

et esquilleuse; elle colle et produit à la distillation 0,104 de gaz.

(5) *Houille de Saint-George Chatelaison* (Maine-et-Loire); elle est friable, à cassure irrégulière ou fibreuse peu éclatante; il est rare qu'elle ne soit pas mélangée d'une grande proportion de matières terreuses.

(6) *Houille du Creusot* (Saône-et-Loire) (M. Chevalier); d'un noir brillant, peu schisteuse, très fragile. Sa pesanteur spécifique est de 1,179. Elle est collante et convient pour la fabrication du coke et le travail de la forge. Elle contient des pyrites, et laisse des cendres rouges.

(7) *Houille de Fins*, près de Montmaraut (Allier); elle est d'excellente qualité, très propre à la forge, et elle se rapproche beaucoup de la meilleure houille de Saint-Étienne. Elle donne 0,10 à 0,11 de gaz très éclatant; sa cendre est composée de

Silice.....	0,60	1,00
Alumine et oxide de fer... ...	0,34	
Chaux.....	0,06	

(8) *Houille de Décize* (Nièvre); sa pesanteur spécifique est de 1,285. Elle s'effleurit très promptement à l'air, parce qu'elle est pyriteuse. Elle est médiocrement collante, brûle avec flamme, et dure assez long-temps au feu. Elle convient pour la grille.

(9) *Houille de Commentry*, près de Montluçon (Allier). Cette houille colle bien et est propre à la fabrication du coke, mais elle est un peu faible pour le travail de la forge. Elle produit 0,12 de gaz, et elle contient 0,012 de pyrite.

(10) *Houilles de la mine de Balayre*, (11) et de la *mine de Lassalle*, près d'Aubin (Aveyron). Ces houilles sont d'un très beau noir éclatant, à cassure schisteuse dans un sens, et conchoïde dans un autre. On n'y aperçoit pas de pyrites, et elles donnent des cendres presque blanches. Elles sont très collantes, et produisent d'excellent coke pour l'usage des hauts-fourneaux. Elles

donnent à la distillation 0,10 à 0,12 de gaz, et à peu près parties égales d'eau et de bitume.

(12) *Houille de Durban*, près de Narbonne (Aude); schisteuse, d'un beau noir éclatant. Sa poussière est noire. Elle donne un coke bien aggloméré et poreux, mais qui n'est presque pas boursouflé. Elle brûle avec flamme et laisse des cendres d'un rouge foncé. Elle contient environ 0,045 de pyrites.

(13) *Houille de Carmeaux*, près d'Alby (Tarn); d'un très beau noir éclatant, non schisteuse et presque compacte, mais veinée de zones parallèles, les unes à cassure conchoïde ou unie éclatante, et les autres à cassure inégale et raboteuse moins éclatante. Sa poussière est d'un noir tirant sur le brun. Elle se ramollit et se boursoufle sans se fondre tout-à-fait, et brûle avec une flamme longue qui dure long-temps. Elle n'est pas du tout pyriteuse.

(14) *Houille de la mine de Rochebelle*, près d'Alais (Gard); d'un beau noir luisant, à cassure lisse ou striée dans plusieurs sens, et conchoïde ou inégale dans les autres sens. Sa poussière est noire. Elle ne contient pas de pyrite. On en fait de très bon coke pour l'usage des hauts-fourneaux : en grand elle en donne 0,55 à 0,60. Sa cendre est blanche et renferme le tiers de son poids de sulfate de chaux; le coke doit par conséquent contenir du sulfure de calcium.

(15) *Houille de la mine de la Grande-Croix*, près de Rive-de-Gier (Loire); de première qualité pour faire le coke. Elle est compacte, sans fissures. Sa cassure est conchoïde ou inégale, d'un noir assez éclatant dans un certain sens, mais dans d'autres sens elle est presque unie, d'un noir peu éclatant ou même terne. Sa poussière est d'un noir brun. Sa pesanteur spécifique est de 1,28. Elle donne un coke très boursoufflé, et brûle en produisant pendant long-temps une flamme jaune, longue, accompagnée de beaucoup de fumée; et elle chauffe très fortement.

(16) *Houille de la mine de Bességes*, près d'Aubin

(Aveyron); elle est de même nature que les houilles de Balayre et de Lassalle.

(17) *Houille de la mine de Ronchamp*, près de Belfort (Haute-Saône); elle se divise en fragmens à peu près cubiques. Ses cassures sont les unes d'un noir éclatant, les autres d'un noir terne. Sa poussière est couleur chocolat assez clair. Elle donne un coke boursouflé, et brûle avec une flamme vive accompagnée de peu de fumée, et en se collant et se boursouflant.

(18) *Houille de la mine du Treuil*, près de Saint-Étienne (Loire); réputée pour donner d'excellent coke. Elle est d'un très beau noir éclatant, à cassure lamelleuse dans deux sens, et conchoïde dans le sens transversal, très fragile. Elle est très collante, mais elle n'augmente guère que du quart de son volume par la carbonisation. Elle brûle avec flamme vive, jaunâtre et très haute, en s'agglutinant, et elle chauffe très fortement. Elle laisse des cendres très rouges qui contiennent plus de la moitié de leur poids d'oxide de fer : cet oxide provient de la pyrite dont la houille est très mélangée.

(19) *Houille d'Épinac*, près d'Autun (Saône-et-Loire); prise dans la couche qui fournit la meilleure qualité. Elle est d'un noir très brillant, schisteuse, fragile. Sa poussière est d'un noir brun. Elle n'est presque pas pyriteuse. A la distillation elle fournit un coke boursouflé. Quand on la brûle elle se fendille et se boursoufle, mais les morceaux ne s'agglutinent que faiblement entre eux. La combustion a lieu avec flamme, et est accompagnée de beaucoup de fumée. Il y a des échantillons qui ne laissent que 0,03 à 0,04 de cendres. Les gaz qui s'en dégagent sont dans la proportion de 0,09 environ.

(20) *Houille de Bellestat* (Aude); c'est la variété qui est connue dans le commerce sous le nom de *jayet*, et que l'on travaille en bijoux à Sainte-Colombe. Elle se trouve en couches peu épaisses dans le grès vert, et fait par conséquent partie du terrain de craie. Cette houille est compacte, homogène, d'un très beau noir brillant, Jayet.

dure et tenace. Sa cassure est largement conchoïde dans tous les sens. Sa poussière est d'un brun de café assez clair; chauffée en vase clos elle décrépite, laisse dégager beaucoup d'eau non acide et pure, puis donne des huiles en se fondant et en se boursouflant. Elle brûle avec une flamme très longue qui dure long-temps et qui est accompagnée de beaucoup de fumée, et en répandant une odeur purement bitumineuse qui n'a aucun rapport avec l'odeur des lignites; elle se ramollit, s'agglomère et se boursoufle. Les cendres qu'elle laisse sont de couleur briquetée, mais elle ne contient pas de pyrites. Les matières volatiles sont très riches en combustible.

(21) *Jayet* d'une localité inconnue, à cassure conchoïde éclatante, à fragmens à bords aigus. Sa poussière est brune. Par calcination il se ramollit, s'agglomère en une seule masse, et donne un coke métalloïde et très boursouflé. Quand on le traite par la potasse caustique liquide, il ne s'en dissout que 0,05 à 0,06, et la liqueur est peu colorée. Ses cendres sont un peu ferrugineuses.

Houilles grasses étrangères.

	Glamorgan. (1)	Newcastle. (2)	PAYS DE MONS. Dour. (3)	Bouleau. (4)	Gaillet. (5)	Gade. (6)	Asturies. (7)	Le Vigan. (8)
Charbon.....	0,777	0,760	0,715	0,653	0,585	0,510	0,545	0,526
Cendres.....	0,027	0,054	0,052	0,017	0,030	0,050	0 018	0,034
Matières volatiles.	0,196	0,186	0,233	0,330	0,385	0,440	0,437	0,440
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge.....	31,2	30,9	.....	29,0	28,1	27,4	26,0	28,3
Charbon équivalant aux matières volatiles...	0,153	0,145	.....	0,22	0,24	0,30	0,22	0,30

(1) *Houille de Glamogan*, dans le pays de Galles. On en fait du coke qui est employé dans les hauts-

fourneaux ; elle est éminemment propre à cet usage. Elle est d'un noir peu éclatant, imparfaitement feuilletée dans un sens, et à cassure inégale dans les autres sens. Sa poussière est noire tirant un peu sur le brun; sa pesanteur spécifique est de 1,31. Elle est mélangée de beaucoup de charbon minéral. Elle donne un coke très boursouflé, et brûle avec flamme en se gonflant beaucoup. C'est une des meilleures houilles que l'on connaisse; elle n'est pas du tout pyriteuse, et laisse des cendres parfaitement blanches.

(2) *Houille de Newcastle*, dans le Northumberland, de première qualité. Elle est feuilletée dans un sens; à surfaces unies médiocrement luisantes : sa cassure transversale est très inégale, noire et luisante; sa poussière est d'un noir un peu brunâtre; sa pesanteur spécifique est de 1,34. Elle donne un coke boursouflé, semblable à celui de la houille précédente; elle brûle avec une flamme jaune, lumineuse, courte et sans fumée; elle se colle et se gonfle un peu. Ses cendres sont blanches et contiennent 0,30 de chaux.

(3), (4), (5), (6) *Houilles du pays de Mons.* On compte 114 couches de houille dans cette contrée, et l'on distingue ce combustible en quatre sortes, que l'on appelle : 1°. le *charbon de forge*, 2°. le *charbon dur*, 3°. le *flénu*, et 4°. l'*anthracite*. Le flénu occupe le centre du bassin : il y en a 49 couches; puis viennent symétriquement, de part et d'autre, le charbon dur, le charbon de forge, et enfin l'anthracite qui ne s'observe que sur les bords du bassin.

(3) *Charbon de forge du canton de Dour.* Il est fragile, mais non tachant; tantôt d'un aspect homogène et d'un noir peu prononcé sans être terne, n'ayant de cassure plane que dans le sens du lit des couches; tantôt composé de veines parallèles inégalement brillantes. Sa pesanteur spécifique et de 1,27; il rend en grand 0,65 à 0,68 d'excellent coke. Il a moins de corps que la houille de Saint-Étienne. Les mines dans lesquelles on l'exploite sont infestées de *feu grisou*.

(4) *Charbon de la veine du Bouleau-Fontaine-Madame*, près de Mons. Cette espèce de houille offre deux sens de clivage rectangulaires, dont l'un est parallèle au sens de la couche; elle se casse par conséquent en fragmens rectangulaires : les faces sont planes ou inégales, tantôt d'un noir éclatant, tantôt sans éclat. Sa pesanteur spécifique est de 1,260 à 1,287. Sa poussière est noire, mais elle tache le papier en brun. Elle colle, mais se boursoufle peu. Elle brûle avec une flamme vive et soutenue, et presque sans fumée; mais elle est lente à s'embraser. En grand elle donne 0,55 de fort beau coke. Elle convient aux fours à puddler, aux verreries, etc.; sa cendre est blanche ou légèrement blonde.

(5) *Charbon flénu de la veine du Grand-Gaillet, fosse d'en-bas.* (6) Id., *de la veine Gade, fosse de la Nouvelle-Alliance.* Ce charbon est d'un noir brillant, et se casse en fragmens rhomboédriques obliques dont les faces portent des stries qui sont caractéristiques, et que l'on nomme la *maille*. Sa pesanteur spécifique est de 1,254 à 1,300; sa poussière est noire et tache le papier en brun : il ne tombe pas spontanément en poudre, et se conserve à l'air pendant très long-temps. Il donne un coke très boursouflé, très léger et peu solide; il s'embrase très aisément, et brûle avec une flamme longue, vive et claire; il colle assez pour s'agglutiner, mais non pas pour former voûte. Il est de la plus parfaite qualité pour les chaudières et pour la préparation du gaz d'éclairage.

Les houilles de Mons sont remarquables en ce qu'elles ne laissent qu'une très petite quantité de cendres, et en ce qu'elles ne renferment presque pas de pyrites.

(7) *Houille des environs d'Oviedo*, dans la province des Asturies, en Espagne; compacte, à cassure inégale, etc.; plane, un peu lamelleuse, noire et un peu luisante, légère; sa poussière est d'un noir un peu brun. Par calcination en vases clos, elle donne du coke fendillé et boursouflé, mais dont les morceaux ne s'agglomèrent pas entre eux. Ses cendres sont légèrement briquetées.

(8) *Houille du Vigan*, en Angleterre, dite *cannel-coal*; compacte, à large cassure conchoïde en tous sens : ses fragmens sont à bords aigus comme les fragmens du silex; elle est d'un noir peu foncé et peu éclatant. Sa pesanteur spécifique est de 1,277. Chauffée en vase clos, elle décrépite un peu, laisse dégager beaucoup d'eau pure, puis des huiles; et elle donne un coke bien aggloméré. Elle brûle avec une flamme longue, lumineuse, accompagnée de fumée, et elle se colle en se gonflant. Sa cendre est de couleur briquetée et contient de la chaux.

Parmi les houilles sèches il y en a qui doivent cette propriété à l'excès de carbone qu'elles renferment; et d'autres qui ne sont pas collantes, quoiqu'elles donnent à la distillation beaucoup de matières volatiles. Nous allons faire connaître successivement les unes et les autres. Houilles sèches.

Houilles sèches très carbonées.

	Bourg-Lastic. (1)	Zinsweyer. (2)	Durham. (3)	Mons. (4)	Rolduc. (5)	Fresne. (6)	Wellin. (7)	Charbon minéral. Dresde. (8)	Charbon minéral. Silésie. (9)
Charbon.	0,780	0,577	0,820	0,850	0,870	0,863	0,880	0,793	0,919
Cendres.	0,055	0,300	0,050	00 23	0,027	0,043	0,034	0,013	0,039
Matières volatiles.	0,165	0,123	0,130	0,127	0,103	0'094	0,086	0,194	0,042
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Houille de Bourg-Lastic* (Puy-de-Dôme); d'un noir très éclatant, extrêmement friable, pénétrée de gerçures à faces ternes : on y distingue quelques pyrites. Par la distillation elle produit 0,08 de gaz, 0,04 d'eau ammoniacale, et 0,035 d'huiles. Elle s'incinère très difficilement.

(2) *Houille de Zinsweyer*, près d'Offenbourg, vallée de la Kœnig, dans le grand-duché de Bade; on la qualifie d'anthracite. Elle est d'un beau noir tirant sur le gris, mais non métalloïde, douce au toucher, très

tendre et très fragile, se divisant en fragmens lenticulaires; elle a l'apparence d'un schiste bitumineux. Sa poussière est noire. Quand on la brûle, elle produit pendant quelques instans une flamme claire et courte, sans fumée. Par la distillation elle donne très peu d'eau et des huiles. Ses cendres sont d'un blanc légèrement briqueté. Elle produit 22,2 de plomb avec la litharge; d'où il suit que les 0,123 de matières volatiles équivalent à 0,08 de charbon.

(3) *Houille de Durham*, dite *anthracite*, exploitée au-dessous du terrain houiller du Northumberland, en Angleterre; elle est d'un noir très foncé, tirant sur le gris, à cassure inégale presque grenue, et dans quelques parties à cassure conchoïde éclatante, non feuilletée; sa poussière est noire. A la distillation elle produit beaucoup d'eau et un peu d'huile empyreumatique bitumineuse. Elle brûle lentement et sans flamme. Elle produit 31,6 de plomb avec la litharge; elle contient 0,03 de pyrites.

(4) *Houille de Mons*, dite *anthracite*; schisteuse, contournée, peu consistante, et tachant les doigts. Elle est excellente pour la cuisson de la chaux.

(5) *Houille de Rolduc*, près de Maestrich, dite *anthracite*; elle est feuilletée dans un sens, à feuillets plans d'un beau noir et très miroitans; dans le sens transversal sa cassure est inégale ou conchoïde en petit, éclatante et d'un noir un peu gris. Cette houille est très fragile. Sa poussière est d'un noir pur; sa presanteur spécifique est de 1,34. Chauffée dans le tube de verre, elle décrépite légèrement sans se fendiller ni changer d'aspect, et donne de l'eau en répandant une odeur bitumineuse très faible, mais sensible, et le tube se trouve jauni par des traces d'huile. Elle brûle en produisant pendant quelque temps une flamme jaune courte, mais très visible. Elle produit plus de 31 de plomb avec la litharge.

(6) *Houille de Fresne*, près de Valenciennes, dite *anthracite*. Tantôt sa cassure est conchoïde, et tantôt elle se divise par des plans perpendiculaires au lit; tantôt assez solide et tantôt fragile. Elle porte souvent des stries

semblables à la maille du flénu. Sa pesanteur spécifique varie de 1,354 à 1,369.

Les houilles (3), (4), (5) et (6) se trouvent dans les mêmes circonstances de gisement, et sont évidemment de même nature; celles qui sont consistantes et qui ne se fendillent pas par la chaleur, pourraient probablement être employées avec grand avantage pour le traitement des minerais de fer dans les hauts-fourneaux.

(7) *Houille d'Angleterre*, employée dans les hauts-fourneaux de Welsh (M. Mushet); elle est analogue aux précédentes et à la houille dite *anthracite*, que l'on trouve à Kilkenny, à Boulaouen, et en d'autres lieux en Irlande.

(8) *Charbon minéral des mines de Postschapel*, près de Dresde; (9) *Charbon des environs de Waldembourg*, dans la haute Silésie. On appelle *charbon minéral* (faserkohle) une substance noire, combustible, fibreuse ou pulvérulente, qui se trouve disséminée dans presque toutes les mines de houille, mais jamais dans les mines de lignite, et qui ressemble très souvent au charbon de bois par son aspect. On a quelquefois qualifié cette substance d'*anthracite*, parce qu'on la regardait comme très difficile à brûler : on remarque en effet que quand le coke en contient beaucoup, elle s'amasse dans l'ouvrage des hauts-fourneaux, les encombre et ne s'y brûle pas; mais M. Karsten a reconnu que cet effet dépend de la faculté qu'a le charbon minéral de tomber aisément en poudre, et que sous la moufle il brûle avec une flamme très visible, et laisse un coke plus facile à incinérer que le coke des meilleures houilles. M. Karsten a trouvé aussi que la composition du charbon minéral est relative à celle de la houille au milieu de laquelle il a son gisement, mais qu'il est beaucoup plus carboné. Il y en a qui ne perd que 0,03 à 0,04 de son poids par la calcination.

Charbon minéral.

Houilles sèches peu carbonées.

	Tuchan. (1)	Lardin (2)	Blanzy. (3)	Asturies. (4)	Lavencas. (5)	Ombrowa. (6)	Salins. (7)	Vazas. (8)
Charbon.....	0,560	0,608	0,543	0,503	0,446	0,510	0,500	0,406
Cendres.....	0,200	0,062	0,061	0,080	0,144	0,040	0,130	0,072
Matières volatiles.	0,240	0,330	0,396	0,417	0,410	0,450	0,370	0,522
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge.....	.....	.....	.....	26,1	24,0	21,2	21,0	19,4
Charbon équivalant aux matières volatiles...	.....	.....	.....	0,27	0,27	0,12	0,12	0,16

(1) *Houille de Tuchan* ou *Ségur*, près de Narbonne (Aude); formée de feuillets parallèles, les uns de houille pure, les autres de houille terreuse et calcaire. Elle est d'un beau noir brillant; sa poussière est noire; on n'y voit pas la plus petite trace de pyrite; elle brûle avec flamme et fumée en se fendillant et s'arrondissant sur les bords, mais sans se coller. Les cendres sont parfaitement blanches et contiennent 0,05 de leur poids de chaux; d'où il suit que la matière terreuse non calcaire renferme 0,10 de son poids de carbonate de chaux.

(2) *Houille de la mine de Lardin*, près de Souillac (Dordogne); d'un noir éclatant, à cassure conchoïde. Elle donne 0,13 de gaz, et brûle avec flamme sans se coller.

(3) *Houille de Blanzy*, près du Creusot (Saône-et-Loire) (M. Chevalier); solide, à cassure conchoïde et unie, très pyriteuse : aussi s'échauffe-t-elle facilement et s'effleurit-elle à l'air. Sa pesanteur spécifique est de 1,28; elle brûle avec une flamme vive, mais qui dure peu, et sans se coller; elle est plus légère que le flénu.

(4) *Houille des environs d'Oviedo*, dans la province des Asturies, en Espagne; compacte, un peu fendillée, à cassure presque unie dans divers sens, d'un noir gri-

sâtre luisant : toutes ses fissures sont tapissées d'un enduit mince, blanc, cristallin, de sulfate de chaux ; et l'on y voit çà et là quelques pyrites. Elle brûle avec flamme sans éprouver le moindre ramollissement ; les cendres sont presque blanches et se composent de sulfate de chaux mêlé de sulfure de calcium et d'une petite quantité d'argile et d'oxide de fer.

(5) *Houille de Saint-George-de-Lavencas*, près de Milhaud (Aveyron) ; elle se trouve en couches très étendues dans le lias. Elle est compacte, à cassure partie conchoïde presque unie, partie feuilletée, à feuillets courts d'un noir médiocrement éclatant ; sa poussière est d'un noir un peu brun. Elle donne à la distillation 0,09 de gaz, de l'eau pure et des huiles ammoniacales. Elle brûle avec une flamme longue et lumineuse, tantôt sans se déformer, tantôt en se gonflant et en s'agglomérant vers les bords. Elle laisse des cendres blanches qui se composent de 0,90 d'argile et de 0,06 de chaux au plus.

(6) *Houille d'Ombrowa*, dans la haute Silésie ; feuilletée dans deux sens parallèles à une même ligne, à surfaces éclatantes : sa cassure en travers est conchoïde et aussi très éclatante ; sa couleur est le noir pur ; sa poussière est d'un noir un peu brun. Sa pesanteur spécifique est de 1,298. Par la calcination elle donne de l'eau pure et des huiles, sans changer de forme et même sans perdre son éclat. Elle brûle facilement avec flamme très claire ; ses cendres sont couleur briquetée ; les matières volatiles doivent être très oxigénées.

(7) *Houille des environs de Salins* (Jura) ; elle se trouve avec le sel dans les marnes irisées ; sa cassure est inégale ou unie, d'un noir luisant, mais tirant sur le gris. Elle contient quelques pyrites. Elle brûle avec flamme et fumée, sans se ramollir ni se gonfler ; elle s'allume assez difficilement, mais sa flamme dure longtemps ; ses cendres sont rouges et ne contiennent que très peu de chaux. La houille que l'on exploite à Noroi, près de Neuchâteau (Vosges), et dans plusieurs points

du nord-ouest de la France est absolument de même nature.

(8) *Houille de Vazas*, près de Fünskirken, en Esclavonie; compacte, à cassure inégale presque unie dans tous les sens, d'un noir peu éclatant; sa poussière est d'un noir brun. Elle donne beaucoup d'eau et des huiles à la distillation; elle se fendille sans se ramollir, et devient d'un gris métallique très éclatant; elle brûle avec une grande flamme sans fumée, et s'incinère presque aussi facilement que du charbon de bois. Les cendres sont peu ferrugineuses et contiennent beaucoup de chaux.

§ 8. — Emploi des houilles.

Avantages.

Utilité. — La houille peut remplacer le bois dans presque tous les usages, et en outre elle est employée de préférence à celui-ci dans une multitude de circonstances, parce qu'elle chauffe beaucoup plus fortement. C'est à la possession de ses grandes mines de houille que l'Angleterre doit sa richesse et sa puissance.

Usages. — On emploie la houille pour le chauffage domestique, pour l'évaporation des liquides, pour le service des fourneaux à réverbère, des fourneaux de verreries, etc.; pour cuire la chaux, pour le travail des forges, pour la préparation du gaz d'éclairage et pour la préparation du coke. Il ne suffit pas de connaître le pouvoir calorifique d'une houille pour savoir à quels usages elle est le plus propre, parce qu'à pouvoir calorifique égal, deux houilles peuvent produire des degrés de chaleur très différens; il faut examiner la manière dont elle se comporte au feu, soit dans la distillation, soit dans la combustion; avoir égard à sa solidité ou à sa fragilité, à la nature ou à l'abondance des matières étrangères dont elle est mélangée, et surtout à la présence des pyrites, etc.

Choix relatifs. — Les meilleures houilles sont en général les houilles grasses qui se boursouflent peu; ce sont aussi les plus propres à donner de bon coke. Pour la cuisson de la chaux on préfère les houilles sèches, riches en carbone. Les houilles qui donnent le plus de gaz sont

celles qui renferment le moins de carbone ; mais les houilles qui donnent le gaz le plus éclairant sont celles dans lesquelles il y a le plus d'hydrogène par rapport à l'oxigène, quelle que soit d'ailleurs la proportion du carbone. Les pyrites nuisent beaucoup aux qualités des houilles, même pour la préparation du gaz, parce qu'elles donnent lieu à la production de l'hydrogène sulfuré, dont l'odeur est insupportable.

Qualités de diverses houilles. — Parmi les houilles que l'on consomme à Paris, on considère le flénu et ensuite les houilles de Blanzy et de Décize comme les meilleures pour le chauffage domestique, la préparation du gaz, les évaporations, et pour tous les cas où l'on a besoin d'un coup de feu instantané. Pour les grands foyers, les machines à vapeur, les verreries, on se sert des houilles d'Auvergne, du charbon dur de Mons, et des houilles du Creusot et d'Anzin. Pour les four à réverbère, pour la forge et pour la fabrication du coke, on préfère la houille de Saint-Étienne, puis celle de Mons, de Charleroy et de Commentry. Pour la cuisson de la chaux on emploie les houilles sèches de Fresnes et Vieux-Condé ; et la *chaussine* d'Auvergne, qui est de même nature.

Houilles à gaz.

Les houilles à forge sont celles qui laissent dégager le gaz le plus lentement à la distillation ; les houilles légères, celles au contraire qui le laissent dégager le plus vite. Le flénu est la houille qui donne le gaz le moins odorant. Des expériences faites en grand, en 1828, ont appris que les houilles de Saint-Étienne donnent par kilogramme 200 à 270 litres de gaz, dont un bec d'éclairage consomme 4 à 4 $\frac{1}{2}$ pieds cubes par heure ; que les houilles dures de Mons en donnent 200 à 260 litres, dont un bec consomme 4 $\frac{1}{2}$ pieds cubes par heure, et que les houilles de Fins et le flénu en produisent 270 litres, dont un bec ne consomme que 3 $\frac{3}{4}$ pieds cubes par heure. On assure que depuis quelque temps on est parvenu à extraire jusqu'à 330 litres de gaz par kilogramme du meilleur flénu.

ARTICLE IV. — *Du coke.*

Usages. — Le coke est, ainsi que nous l'avons dit, le produit de la calcination de la houille. On en fait un très grand usage dans les travaux métallurgiques, et on l'emploie presque exclusivement pour chauffer les fourneaux qui servent à faire les essais par la voie sèche; c'est pourquoi nous lui consacrons un chapitre particulier.

Caractères. — Le coke est en masses poreuses comme la pierre-ponce, et plus ou moins boursouflées et mamelonnées, dur, ne tachant pas les doigts, mais cassant et même friable quand les cavités des pores sont larges. Sa couleur est le gris de fer ou le gris de plombagine; il a l'éclat demi métallique. Sa poussière est d'un gris noir. Sa pesanteur spécifique varie beaucoup; elle n'est pas aussi grande que celle de la houille, mais elle est rarement inférieure à celle de l'eau, et elle surpasse par conséquent celle du charbon de bois. L'hectolitre de coke en morceaux pèse 40 à 45 kilogrammes. A Paris, la voie de 15 hectolitres pèse 645 kilogrammes, une fois et demie autant qu'une semblable mesure de charbon de bois de Picardie. En Silésie on porte le poids du mètre cube de coke à 470 kilogrammes.

Pesanteur spécifique.

Le coke attire l'humidité de l'air comme le charbon de bois, et peut même absorber une très grande quantité de vapeur d'eau; dans les temps secs il abandonne la plus grande partie de cette eau, mais il en retient environ 0,04 à 0,05, qu'il laisse dégager à peu près en totalité à la température de 100°.

Hygrométricité.

Matières volatiles. — Le coke préparé en grand pour les usages de la métallurgie ne retient pas une quantité notable de matières combustibles volatiles, mais celui qui provient des usines à gaz, dans lesquelles la houille est distillée en vases clos, en retient au contraire presque toujours une certaine quantité.

Combustion. — Le coke est d'une très difficile combustion. Il brûle presque sans flamme : les morceaux

incandescens s'éteignent dès qu'on les retire du foyer, et quand il est en petites masses il paraît à peine incandescent. Pour qu'il se consume il faut l'employer en grandes masses, ou bien activer sa combustion par un courant d'air très rapide. Lorsqu'on veut l'incinérer pour doser les matières étrangères qu'il renferme, il faut le réduire en poudre et le chauffer à la chaleur rouge-blanc.

Pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique du coke est en général à peu près le même que celui du charbon de bois ; cependant pour produire un effet déterminé on consomme toujours plus du premier combustible que du second, surtout quand l'effet à produire n'exige pas une température extrêmement élevée. Cela tient à ce que le coke ne peut brûler que lorsqu'il est en grandes masses ou soumis à l'action d'un fort courant d'air ; circonstance d'où résultent toujours une chaleur forte, et par suite une grande déperdition du calorique qui est entraîné par les gaz qui proviennent de la combustion. Dans les travaux métallurgiques, on admet que pour équivaloir à 1 partie de charbon de bois, il faut 1 $\frac{1}{4}$ à 1 $\frac{1}{2}$ partie de coke en poids, et environ $\frac{1}{2}$ partie en volume.

Relativement à l'intensité de la chaleur qu'il est capable de produire, aucun combustible ne peut remplacer le coke ; aussi donne-t-il dans les hauts-fourneaux des résultats que l'on ne peut pas obtenir avec le charbon de bois. Dans les fourneaux d'essais pour les métaux difficiles à fondre, il élève la température de 10° p. de plus que ce dernier combustible. Il doit cette propriété à sa grande densité, et probablement aussi, d'après M. Péclet, à ce que son pouvoir de rayonnement est très grand.

En comparant le pouvoir calorifique du coke à celui des houilles, on voit qu'en général, en carbonisant celles-ci, on ne perd que le cinquième ou le quart, et très rarement le tiers de la chaleur totale qu'elles peuvent développer, tandis que dans la carbonisation du bois cette perte est d'environ moitié.

Usage docimasique. — Si l'on pouvait aisément se procurer du coke à peu près pur, ce combustible serait extrêmement précieux, et en l'employant dans un fourneau à vent ou dans une forge à soufflet, on pourrait en quelques heures obtenir une température tellement élevée, qu'aucun creuset ne pourrait la supporter sans se fondre; malheureusement le coke que l'on trouve dans le commerce, surtout à Paris, est toujours très mélangé de matières étrangères qui sont extrêmement nuisibles, en ce qu'elles encombrent les fourneaux et corrodent les creusets. Il faut, dans le choix que l'on fait des cokes, prendre en grande considération la nature et la proportion de ces matières; elles sont les mêmes que celles qui se trouvent dans les houilles, et elles se composent essentiellement d'argile et de pyrites. L'argile, après la combustion, s'agglomère en masses scoriacées imparfaitement fondues, qui restent sur la grille du fourneau et finissent par intercepter tout passage à l'air : les pyrites, qui, par le fait de la carbonisation, se sont transformées en protosulfure, se grillent et laissent de l'oxide de fer qui, s'attachant aux parois des fourneaux et aux creusets, les corrode et les détruit avec une extrême rapidité; dans l'un et l'autre cas il est rare que l'on puisse prolonger le feu pendant plus de trois heures. Quand ces substances se trouvent ensemble, ce qui est le cas le plus ordinaire, il en résulte des scories noires qui rongent les creusets et qui encombrent en même temps la grille.

Inconvénient.

Nous avons vu qu'en traitant les cokes pulvérisés par l'acide muriatique, on en sépare le sulfure de fer qui se dissout avec dégagement de gaz hydrogène sulfuré; mais le dégagement de ce gaz n'indique pas toujours la présence de la pyrite, car ce dégagement a lieu également avec les cokes qui proviennent des houilles qui renferment du sulfate de chaux, parce que ce sel, par sa calcination au contact du charbon, se transforme en sulfure de calcium : il est donc nécessaire d'examiner la liqueur muriatique pour savoir ce qu'elle contient.

Composition. — Voici le résultat de l'essai de quelques variétés de coke préparé en grand.

	La Garre. (1)	Bessèges. (2)	Le Treuil. (3)	Rive-de-Gier. (4)	Durban. (5)	Montmartre. (6)	Luxembourg. (7)
Charbon....	0,858	0,824	0,820	0,750	0,715	0,640	0,590
Cendres.....	0,115	0,138	0,150	0,215	0,235	0,280	0,230
Matières volatiles.....	0,027	0,038	0,030	0,035	0,050	0,080	0,180
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge.	28,5	28,4	.....	26,0	.....	.....	22,2

(1) *Coke* préparé à la Garre avec de très bonnes houilles de Saint-Étienne, pour la consommation de Paris : les substances étrangères qu'il renferme avant la combustion sont composées de :

Argile inattaquable par les acides..	0,620
Alumine.....	0,050
Chaux.....	0,060
Magnésie.....	0,080
Oxide de manganèse.....	0,030
Oxide et sulfure de fer.....	0,160
	1,000

Ce coke est de très bonne qualité.

(2) *Coke* fait avec la houille de Bessèges, près d'Aubin (Aveyron), pour le service des hauts-fourneaux. Ses cendres sont presque blanches et purement argileuses, ce qui prouve qu'il ne contient que très peu de sulfure de fer.

(3) *Coke* préparé à Paris avec la houille de la mine du Treuil, près de Saint-Étienne. On le trouve excellent pour le service des fourneaux à la Wilkinson, et l'on dit qu'il occasione peu de déchet dans la fonte et qu'il produit peu de scories, quoiqu'il laisse beaucoup de

cendres par sa combustion : cela provient de ce que les cendres étant très ferrugineuses, donnent naissance, au contact du charbon, à du fer métallique qui se réunit à la fonte, et compense le déchet que celle-ci doit nécessairement éprouver par diverses causes. Mais la présence de cette grande quantité de fer rend au contraire ce coke impropre à servir aux essais par la voie sèche, quoique d'ailleurs il chauffe très fortement. Il doit contenir 0,08 à 0,10 de sulfure de fer. On a lieu d'être surpris que cette substance n'altère pas la qualité de la fonte.

(4) *Coke* préparé avec la houille de Rive-de-Gier, et que l'on emploie dans les hauts-fourneaux de la Voulte. Il ne contient que 0,003 de sulfure de fer. Ses cendres sont purement argileuses. Il est probable que l'échantillon examiné était plus terreux que le coke ordinaire.

(5) *Coke* fait en grand avec la houille de Durban, près de Narbonne (Aude); il est solide, poreux, d'un beau gris métallique, mais mélangé d'une manière visible de matières terreuses. Il contient environ 0,15 de protosulfure de fer.

(6) *Coke* obtenu dans l'usine à gaz du faubourg Montmartre, à Paris. Ses cendres sont d'un rouge briqueté foncé.

(7) *Coke* obtenu dans l'usine à gaz du Luxembourg, à Paris. Ses cendres sont très légèrement briquetées, et il est peu sulfureux; mais il est trop terreux pour les usages d'un laboratoire. On voit qu'il retient une proportion considérable de matières volatiles.

Choix du coke. Lorsque l'on a pour but de produire une chaleur très forte, et quand le combustible doit supporter une grande pression, par exemple pour le service des hauts-fourneaux, le meilleur coke est celui qui est un peu boursouflé, passant au coke fritté; mais quand on n'a besoin que d'une température moyenne, il vaut mieux employer le coke boursouflé, parce qu'il brûle plus aisément, et qu'ayant peu de densité on en consomme moins : toutefois on n'en peut faire un usage avantageux qu'en le

garantissant des mouvemens brusques et d'une trop forte pression, parce qu'il est très friable, et que s'il tombait en poudre il encombrerait les fourneaux.

ARTICLE V. — *Des anthracites.*

Caractères. — L'anthracite est d'un noir grisâtre ou d'un gris-noir, et elle est toujours douée d'un certain éclat demi métallique qui est souvent très prononcé, et qui est à peu près le même que celui du coke. Ce caractère la fait distinguer des houilles, qui ne le présentent jamais. Elle est plus pesante que la houille. Sa densité varie de 1,60 à 2,10. Elle peut absorber une assez grande quantité de vapeur d'eau atmosphérique : elle abandonne presque toute cette eau par la dessiccation à la température de l'ébullition ; cependant quand on la calcine après dessiccation, elle donne toujours encore des traces notables d'humidité.

Pesanteur spécifique.

Composition. — L'anthracite est essentiellement composée de carbone, et ne donne pas d'huile à la distillation, ou du moins n'en donne que des traces. Néanmoins, indépendamment de l'eau, elle renferme presque toujours une petite quantité de matières volatiles, car elle répand une odeur particulière lorsqu'on la chauffe, et il y en a plusieurs variétés qui laissent dégager de l'ammoniaque, du sel ammoniac ou du sulfure d'ammoniaque.

Matières mélangées. — L'anthracite admet en mélange diverses substances étrangères, comme les houilles : celles que l'on y remarque le plus habituellement sont l'argile, ou plutôt la matière pierreuse dont se composent les couches du terrain qui l'enveloppent, les pyrites, qui s'y trouvent en rognons, en grains cristallins ou en enduit sur les feuillets, et l'oxide de fer. L'anthracite est pénétrée d'une multitude d'empreintes qui attestent qu'elle doit, au moins le plus souvent, son origine à des végétaux. Les végétaux que l'on y remarque appartiennent aux monocotylédons cryptogames, et particulièrement à la classe des fougères.

Argile.

Pyrites.

Oxide de fer.

Empreintes.

Combustion. — L'anthracite se comporte au feu comme le coke, et brûle même encore plus difficilement, à cause de sa compacité. Elle ne s'embrase que lorsqu'elle est en grandes masses et soumise à une chaleur très forte; les morceaux isolés s'éteignent presque immédiatement. Une petite quantité de matière en poudre que l'on incinère à la chaleur rouge dans un têt, se consume lentement sans entrer en incandescence. Quoique l'anthracite ne contienne pas de matières volatiles combustibles, on remarque cependant que lorsqu'elle commence à brûler elle s'entoure presque toujours d'une légère flamme bleue, courte et transparente, qui dure pendant quelques instans : il est probable que cette flamme est due à la combustion d'une petite quantité d'hydrogène carboné qui doit être le résultat de la réaction de l'eau que contient l'anthracite sur le charbon.

Pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique de l'anthracite est le même que celui du coke, et comme ce combustible, elle développe une température excessivement élevée. Il est néanmoins rarement possible de l'employer dans les hauts-fourneaux, d'abord parce qu'elle est presque toujours très pyriteuse, et ensuite parce que souvent elle décrépite à la première impression de la chaleur, et par suite devient friable, se brise en très petits éclats sous la pression qu'elle a à supporter, et encombre le creuset au bout de très peu de temps, à tel point que le vent des soufflets ne peut plus y circuler. C'est par cette dernière cause que l'on a été forcé de renoncer à l'usage que l'on avait tenté de faire de l'anthracite de la Mure (Isère) dans les hauts-fourneaux de Vizille. L'anthracite mêlée avec le bois donne souvent un très bon résultat : c'est ainsi qu'on l'emploie souvent pour le chauffage domestique, ou pour faire des évaporations en grand, par exemple dans les salines de Moutiers, en Savoie.

Température. Usages.

Classification. — On peut distinguer trois sortes d'anthracite, savoir : 1°. l'*anthracite vitreuse;* 2°. l'*anthracite commune;* et 3°. le *graphite* ou *plombagine*.

L'*anthracite vitreuse* est compacte, absolument homogène, à cassure largement conchoïde dans tous les sens; d'un noir un peu grisâtre, très éclatante, et ayant un reflet sensiblement métalloïde. Ses fragmens sont à bords aigus et coupent comme du verre. Sa pesanteur spécifique est d'environ 1,60. Elle décrépite au feu sans se fracturer. On ne la rencontre pas fréquemment, mais on en connaît deux gisemens considérables situés, l'un à Lamure, près de Grenoble, et l'autre aux États-Unis d'Amérique. Vitreuse.

L'*anthracite commune* est le plus ordinairement lamellaire ou écailleuse, d'un noir tirant sur le gris, sensiblement métalloïde, dure, ne tachant pas ou ne tachant que très peu les doigts, cassante et se réduisant aisément en poudre impalpable sous le pilon. Commune.

Le *graphite* ou *plombagine* n'est pas classé ordinairement avec l'anthracite, parce qu'il a des caractères particuliers, et qu'il ne paraît pas comme celle-ci devoir son origine à des matières végétales. Effectivement on n'y trouve pas d'empreintes, et il se rencontre fréquemment dans des roches que l'on regarde comme primordiales. Néanmoins nous en parlons ici, parce que c'est, ainsi que l'anthracite, du carbone à peu près pur. Le graphite est compacte, grenu, feuilleté, lamellaire, ou même laminaire, à lames hexagonales. Il est d'un gris de fer ayant un éclat métallique très prononcé, doux au toucher. Il jouit d'une certaine mollesse, s'aplatit et se pelotonne sous le pilon, au lieu de se réduire en poudre, et tache les doigts. Sa pesanteur spécifique est de 2,08 à 2,26. On l'emploie pour faire des crayons et pour atténuer la résistance des frottemens dans les machines. Il est fort souvent intimement mélangé de matières argileuses; alors on peut s'en servir pour faire des creusets réfractaires. Il brûle plus difficilement encore que l'anthracite. Pendant long-temps on a considéré le graphite comme du carbure de fer, parce que l'on n'en rencontre point qui soit tout-à-fait exempt de ce métal; mais il est hors de doute aujourd'hui que le fer Graphite.

y est à l'état d'oxide, et s'y trouve simplement mélangé, et que le minéral, dans son état de pureté, n'est que du carbone hors de toute combinaison.

Composition. — Le tableau ci-dessous présente des exemples de composition de différentes anthracites et de trois variétés de graphite.

	Lamure. (1)	Pensylvanie. (2)	Biaic. (3)	LAVAL. Chaumière. (4)	LAVAL. Baconnière. (5)	Moutiers. Corbassière. (6)
Charbon.....	0,913	0,860	0,850	0,847	0,665	0,770
Cendres.....	0,027	0,060	0,040	0,073	0,250	0,150
Matières volatiles....	0,060	0,080	0,110	0,080	0,085	0,080
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge.	31,6	30,5		33,0	26,6	26,7

	Mussy-sous-Dun. (7)	Mont de Lans. (8)	Ernani. (9)	Chardonnet. (10)	Bavière. (11)	Angleterre. (12)
Charbon.....	0,767	0,733	0,700	0,734	0,868	.....
Cendres.....	0,148	0,132	0,240	0,220	0,110	.....
Matières volatiles....	0,085	0,135	0,060	0,046	0,022	0,035
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Plomb avec la litharge.	29,0	25,0	.....	26,6	29,8	.....

Vitreuse. (1) *Anthracite vitreuse de Lamure*, près de Grenoble (Isère); sa pesanteur spécifique est de 1,608. A la température de l'ébullition elle ne perd que 0,006 de son poids : l'eau y est donc retenue très fortement. Elle décrépite au feu et ne répand pas la moindre odeur bitumineuse. Lorsque après avoir été calcinée on la laisse exposée à l'air, elle absorbe en peu de temps 0,036 d'humidité atmosphérique.

(2) *Anthracite vitreuse de Pensylvanie*, sur les bords de la Delaware; elle ressemble à la précédente, mais elle

est un peu moins noire. Sa pesanteur spécifique est de 1,580. Ses cendres sont argileuses et légèrement briquetées. On en fait une grande consommation à Philadelphie, pour le chauffage domestique.

(3) *Anthracite commune de Binic*, petit port situé à quelque distance de Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord); elle se trouve à une petite profondeur, dans des grès de transition. Elle est d'un beau noir irisé, à cassure conchoïde éclatante. Chauffée dans un tube de verre, elle donne de l'eau pure et des traces de bitume; elle brûle en produisant une légère flamme; ses cendres sont blondes, et renferment plus de la moitié de leur poids de chaux.

(4), (5) *Anthracites des environs de Laval* (Mayenne); elles font partie d'un terrain de grauwacke et de schiste recouvert par du calcaire de transition. Elles sont l'objet d'exploitations importantes. On les emploie principalement pour cuire de la chaux, dont on fait actuellement une grande consommation dans les travaux agricoles.

(4) *Anthracite de la Chaumière;* lamelleuse en plusieurs sens, se cassant en fragmens parallélépipédaux, éclatante, d'un noir très peu gris ne tachant pas les doigts. Chauffée dans un tube de verre, elle décrépite faiblement sans se briser; elle donne d'abord de l'eau, puis elle répand une odeur bitumineuse très faible, mais sensible, et le tube se recouvre d'un vernis mince de matière huileuse. Elle brûle en produisant une flamme courte et claire, et elle exhale sur la fin une forte odeur d'acide sulfureux. Les cendres sont très rouges. Elle contient 0,030 d'argile et 0,043 de pyrites; les 0,847 de charbon qu'elle renferme produiraient 28,8 de plomb; les 0,043 de pyrites en donneraient 3,4; les 0,080 de matières volatiles en produisent donc 0,8, et équivalent par conséquent à environ 0,02 de charbon.

(5) *Anthracite de Baconnière;* en masses écailleuses, tendre, s'écrasant entre les doigts; d'un noir un peu gris sur les faces brillantes des lamelles. Sa poussière est noire. Dans le tube de verre elle donne d'a-

bord de l'eau accompagnée d'une légère odeur empyreumatique, puis un sublimé très notable d'hydrochlorate d'ammoniaque, sans la moindre trace de bitume. Elle brûle lentement, et en produisant dans le commencement une flamme très légère et seulement lorsqu'on l'agite. Les cendres qu'elle laisse sont d'un rouge de brique pâle.

A Bordereaux, près de la Baconnière, on trouve une anthracite schisteuse, noire, friable, tachant les doigts, qui contient à peu près 0,18 de matières terreuses, et qui ne renferme presque pas de pyrites. Quoiqu'elle ne fasse pas pâte avec l'eau, on pourrait l'employer, comme la plombagine, pour faire des creusets réfractaires, en la mêlant avec deux à trois fois son volume de bonne argile.

(6) *Anthracite de Corbassière,* en Tarentaise (Savoie). On exploite de l'anthracite en divers lieux dans la Tarentaise, principalement à Corbassière, à Echelay, près de Pezey; à Macot et à Montagny, près de Moutiers. On l'emploie pour cuire la chaux et pour chauffer les chaudières des salines. Celle de Corbassière est la plus pure, celles de Macot et de Montagny laissent près du quart de leur poids de cendres. Les anthracites de la Tarentaise se trouvent en couches courtes et épaisses au milieu de roches qui ont tous les caractères des grauwackes, mais que M. de Beaumont rapporte au terrain jurassique. Elles sont écailleuses, d'un noir grisâtre un peu métalloïde; elles tachent un peu les doigts. Elles sont mélangées d'une petite quantité de pyrites, mais en particules indiscernables. Chauffées dans le tube de verre, elles décrépitent, laissent facilement dégager de l'eau pure sans trace de bitume, mais exhalent une odeur particulière faible, qui est caractéristique; aucune ne donne de muriate d'ammoniaque, mais l'anthracite de Corbassière, et plusieurs autres, laissent dégager une quantité très notable de sulfure d'ammoniaque vers la fin de la distillation.

(7) *Anthracite commune de Mussy-sous-Dun* (Saône-et-Loire); lamelleuse en divers sens, mais d'une ma-

nière plus distincte dans le sens de la couche, à lames courbes luisantes, d'un gris de plombagine, fragile; sa poussière est noire. Elle ne décrépite pas au feu, et laisse dégager d'abord de l'eau pure et ensuite une quantité très notable de muriate d'ammoniaque qui se dépose en cristaux dans le col de la cornue. Quand on la chauffe avec de la litharge, l'ammoniaque contribue pour quelque chose à produire du plomb.

(8) *Anthracite commune du Mont de Lans* (Isère); d'un gris métalloïde tirant sur le noir, à feuillets un peu courbes, fragile, tendre et tachant les doigts. Elle se rapproche beaucoup du graphite par tous ses caractères. A la température de l'ébullition elle perd 0,076 d'eau. Elle ne décrépite pas par la calcination, et ne laisse dégager que de l'eau pure. Ses cendres sont argileuses et presque blanches.

(9) *Anthracite commune d'Ernani*, près de Saint-Sébastien, en Espagne; elle forme une couche considérable que l'on exploite, et qui, selon M. Dufrenoy, se trouve dans le *grès vert*, immédiatement au-dessous de la craie. Cette anthracite est d'un beau noir, assez éclatante, à cassure lamelleuse ou conchoïde. En petit, elle ne donne que de l'eau à la distillation. Elle renferme 0,11 d'argile et 0,13 de pyrites.

(10) *Graphite* trouvé dans la mine d'anthracite du col du Chardonnet (Isère); fissuré en divers sens, à faces lisses et luisantes, d'un gris noirâtre métalloïde, tendre, doux au toucher, il ne fait pas pâte avec l'eau. Ses cendres sont de couleur briquetée. En le mélangeant avec de l'argile plastique on pourrait en faire de bons creusets. Graphite.

(11) *Graphite* de Bavière; à structure écailleuse et lamellaire, d'un beau gris métalloïde, très doux au toucher, taché çà et là d'argile ocreuse. Quand on le fait bouillir avec de l'acide muriatique, tout le fer qu'il contient se dissout sans dégagement d'aucun gaz, et il se trouve dans la liqueur en totalité à l'état de peroxide, ce qui prouve, sans qu'il puisse rester aucun

doute, qu'il n'y a pas dans la substance de fer métallique combiné avec le carbone. Par la calcination ce graphite devient sensiblement magnétique, parce qu'une partie de l'oxide de fer se réduit. Sa cendre renferme 0,04 d'oxide de fer et 0,07 d'argile.

(12) *Graphite* de Borrowdale, en Angleterre; lamelleux, à grandes lames entre croisées, tellement mou, qu'il est impossible de le réduire en poudre impalpable sous le pilon. Tout le fer dont il est mélangé s'y trouve à l'état de peroxide : il n'en contient que 0,012.

Le graphite diffère de l'anthracite, principalement en ce qu'il contient beaucoup moins d'eau hygrométrique.

CHAPITRE V.

DES RÉACTIFS DE LA VOIE SÈCHE, OU DES FLUX.

Il y a des cas où l'on expose les substances dont on veut faire l'essai à une chaleur plus ou moins élevée, dans des vases d'une forme convenable, sans y rien ajouter; par exemple, lorsque l'on se propose seulement de reconnaître leur degré de friabilité, l'aspect de la matière fondue, la perte qu'elle éprouve dans l'opération, etc.; mais le plus souvent il est nécessaire d'ajouter aux substances que l'on soumet à l'essai d'autres substances qui doivent être différentes, selon la nature de celles que l'on traite et selon le but qu'on se propose.

Les substances que l'on ajoute dans les essais sont ce que nous appellerons les *réactifs de la voie sèche*. Comme elles déterminent presque toujours la fusion, on les distingue généralement par la dénomination de *flux* ou *fondans;* mais la suite fera voir que cette dénomination ne peut être appliquée avec exactitude qu'à un certain nombre de ces substances.

Nous partagerons les *réactifs de la voie sèche* en cinq classes : 1°. les *réductifs;* 2°. les *oxidans;* 3°. les *désulfurans;* 4°. les *sulfurans;* 5°. et les *fondans*. Nous allons examiner successivement les différens réactifs de chacune de ces classes.

SECTION PREMIÈRE.

Réductifs.

On appelle ainsi les substances qui sont susceptibles d'enlever l'oxigène à un grand nombre de combinaisons. Les réductifs employés dans la voie sèche, sont :

1°. Le *gaz hydrogène;*
2°. Le *charbon;*
3°. Les *huiles grasses*, le *suif* et les *résines;*
4°. Le *sucre*, l'*amidon* et les *gommes;*
5°. L'*acide tartrique;*
6°. L'*acide oxalique;*
7°. Le *fer* et le *plomb métalliques.*

ARTICLE PREMIER. — *Gaz hydrogène.*

Propriétés. — Le gaz hydrogène est invisible, incolore lorsqu'il est absolument pur; mais le plus souvent il a une odeur résineuse désagréable qu'il doit à un mélange de vapeurs huileuses. C'est le plus léger de tous les corps : à 0° sa densité est de 0,0688. Il a une grande affinité pour l'oxigène, et en se combinant avec 8,013 de ce corps il forme de l'eau. Il brûle presque sans flamme, mais en produisant une chaleur très forte. Il forme avec le carbone des gaz permanens qui portent le nom d'*hydrogène carboné*, et quelques composés liquides. Il constitue avec l'oxigène, le carbone et l'azote, toutes les substances organiques. Il ne se combine pas avec les métaux. Son atome pèse 6,2398.

Action sur les oxides.

Le gaz hydrogène réduit un grand nombre d'oxides métalliques, à la chaleur rouge ou à la chaleur blanche, savoir : les oxides de plomb, de cuivre, de bismuth, d'antimoine, de zinc, de fer, de cobalt, de nickel, de tungstène, de molybdène et d'urane; mais comme on ne peut l'employer qu'à l'aide d'appareils compliqués, et à une température trop peu élevée pour que les matières mélangées avec le métal puissent entrer en fusion et s'en séparer, on ne se sert de ce gaz que dans des expériences de recherches. Il a le grand avantage de donner le métal à un état de pureté parfaite, tandis que les autres réductifs ne le produisent souvent que combiné avec une certaine proportion de carbone.

Préparation. — Il est facile de se procurer du gaz hydrogène en dissolvant du fer ou du zinc dans de l'acide sul-

furique étendu de 4 à 5 fois son volume d'eau. On met dans une fiole à médecine ou dans un matras une certaine quantité de cet acide ; puis on y introduit du fer ou du zinc, en limaille ou en petits morceaux ; on adapte un bouchon de liége traversé par un tube de verre, et l'on chauffe légèrement, si l'on veut que l'opération marche vite : on rejette les premières portions de gaz, qui sont mêlées d'air, et on le reçoit ensuite dans un gazomètre ou dans des récipiens convenables.

Appareil de M. Gay-Lussac.

M. Gay-Lussac a imaginé une appareil très commode à l'aide duquel on peut à volonté et instantanément obtenir un courant de gaz hydrogène. Cet appareil a été converti en lampe, et on l'a modifié de diverses manières. Sa forme la plus ordinaire est celle qu'on a représentée dans la Fig. 5, Pl. XII. Le vase inférieur A est muni de deux tubulures, l'une *b* qui est usée à l'émeri intérieurement, et l'autre *c* à laquelle on adapte un tube garni d'un robinet, et par lequel le gaz peut s'écouler : le vase supérieur B est ouvert par le haut, et son col, qui est usé à l'émeri extérieurement en *a*, peut s'adapter exactement dans la tubulure *b*. On verse de l'acide sulfurique étendu d'eau dans le vase A, de manière à le remplir aux trois quarts environ; on fixe au col du vase B un anneau de zinc *z*, et l'on introduit ce col dans la tubulure. Aussitôt que le zinc plonge dans l'acide, il se produit du gaz hydrogène; et si le robinet *c* est ouvert, le gaz s'écoule. Si l'on a placé un peu au-dessus de l'orifice du tube un petit morceau de platine en éponge, comme on le voit en *p*, le gaz s'enflamme et continue à brûler. Lorsqu'au contraire le robinet est fermé, le gaz, ne trouvant aucune issue pour sortir du vase A, comprime l'acide sulfurique et le fait remonter dans le vase B, à travers le col, jusqu'à ce que le niveau du liquide s'étant abaissé au-dessous de la partie inférieure de l'anneau de zinc, la production du gaz s'arrête. Si l'on ouvre de nouveau le robinet, le gaz s'écoule aussitôt, l'acide redescend dans le vase A, et la production de l'hydrogène recommence.

Appareil de M. Hare.

M. Hare a adopté une disposition fort simple, et que l'on peut facilement mettre à exécution dans un laboratoire. On met au fond d'un vase ouvert A, Fig. 6, un support sur lequel on fixe un morceau de fer ou de zinc ; on verse dans ce vase une quantité d'acide sulfurique étendu, suffisante pour que le morceau de métal en soit recouvert ; puis on renverse par-dessus le métal une cloche à robinet B, qui plonge jusqu'au fond du vase : quand le robinet est ouvert le gaz se dégage ; quand il est fermé le gaz s'accumule dans le liquide et monte dans l'espace annulaire *aa*. Il faut que la cloche soit chargée d'un certain poids *p*, afin qu'elle ne puisse pas être soulevée par le gaz. On peut substituer à la cloche un flacon ordinaire dont on aurait détaché le fond ; alors on adapte au goulot de ce flacon un bouchon traversé par un tube de verre qu'il suffit de boucher pour arrêter la production du gaz (1).

Usage. — Quand on veut réduire un acide par le gaz hydrogène, on introduit cet oxide dans un tube de verre à boule, que l'on chauffe au moyen d'une lampe (Fig. 9, Pl. II), ou dans un tube de porcelaine placé au milieu du charbon : on dirige un courant de gaz à travers le tube, et l'on continue l'opération jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de vapeur d'eau. (*Voy.* page 37.)

ARTICLE II. — *Charbon.*

Propriétés. — Le carbone pur est le diamant. On donne le nom de *charbon* au carbone que l'on obtient par la décomposition des substances organiques.

Diamant.

Le carbone pur ou diamant est incolore, transparent ; il cristallise en dodécaèdres, etc. ; il réfracte très

(*) Cet appareil peut servir également pour se procurer à volonté de l'hydrogène sulfuré, de l'acide carbonique et du deutoxide d'azote. Il suffit, pour les deux premiers gaz, de remplacer le métal par un sulfure ou par du marbre. Pour obtenir le deutoxide d'azote, il faut employer du cuivre rouge et de l'acide nitrique.

fortement la lumière : c'est le plus dur de tous les corps; sa densité est de 3,55.

Le charbon est tantôt d'un noir foncé et mat, et tantôt d'un gris noir métalloïde; il est opaque, poreux, fragile, mais très dur. Charbon végétal.

Le carbone, à quelque état qu'il soit, se combine avec l'oxigène, à l'aide de la chaleur; mais la température qui est nécessaire pour que la combinaison ait lieu, est d'autant plus élevée que le carbone est plus dense, ou qu'il se rapproche plus de l'état métallique. Sa combustion produit une chaleur très forte. Le carbone à l'état naissant se combine avec plusieurs métaux, entre autres avec le fer, le cobalt et le nickel. Son atome pèse 76,437.

Le charbon réduit complètement tous les oxides métalliques à l'aide d'une température plus ou moins élevée. Dans les essais, c'est presque toujours par le charbon que s'opère la réduction; mais on emploie cette substance sous différens états. Nous n'entendons parler dans cet article que du charbon de bois et du coke. Action sur les oxides.

Le charbon qu'on destine aux usages de la *voie sèche* doit être choisi avec soin, pulvérisé et passé au tamis de soie. Choix.

Le charbon ordinaire n'est pas du carbone pur; il contient toujours une certaine proportion d'hydrogène et de la vapeur d'eau qu'il condense promptement entre ses pores dès qu'il se trouve en contact avec l'air atmosphérique. Ces substances ne sont aucunement nuisibles; mais si quelques expériences exigeaient que l'on employât du charbon qui n'en contînt pas, il serait facile de s'en procurer en calcinant, à une chaleur blanche soutenue, du charbon ordinaire dans un creuset bien couvert. Le charbon de bois dur conservé dans un lieu sec perd 0,15 de son poids, terme moyen, par la calcination. On pourrait aussi se servir de la brasque qui aurait déjà été employée à un essai; mais il faut savoir que le charbon fortement calciné est beaucoup moins combus- Nature.

tible que le charbon ordinaire, et que, par conséquent, il n'opère pas la réduction aussi facilement et à une température aussi basse.

Cendres. Le charbon de bois laisse par sa combustion 0,02 à 0,03 de cendres ; ces cendres contiennent près de la moitié de leur poids d'acide carbonique ; le charbon ne renferme donc tout au plus que 0,01 de substances fixes, dans lesquelles la chaux est le principe dominant : ces substances doivent pour la plus grande partie passer dans les scories, et n'ont pas sur le résultat des essais une influence qui mérite d'être remarquée.

Charbon pur. S'il était nécessaire de se servir du charbon absolument pur, on s'en procureriat aisément en calcinant du sucre dans un creuset couvert.

Inconvéniens. — Mais le charbon a par lui-même deux inconvéniens : premièrement, il a la faculté de se combiner avec plusieurs métaux ; et, en second lieu, il est infusible, et il ne peut pas entrer en combinaison avec les substances vitreuses. La faculté qu'il a de se combiner avec plusieurs métaux, tels que le fer, le cobalt, le nickel et quelques autres, fait qu'en l'employant pour réduire les oxides de ces métaux, on n'obtient pas ceux-ci à l'état de pureté ; ce qui empêche d'en avoir la proportion rigoureuse, et de prévoir quelles seraient leurs propriétés s'ils étaient purifiés par l'affinage. Il n'y a pas moyen de remédier à ce dernier inconvénient ; mais quant à la proportion du métal, la présence du charbon n'a qu'une faible influence, parce que la quantité de ce combustible qui entre en combinaison est très petite, 0,02 à 0,03 tout au plus, et qu'elle compense à peu près la quantité d'oxide dont la présence des scories empêche la réduction. De l'infusibilité du charbon et de son impuissance à se combiner avec les verres, il résulte qu'après la réduction, la portion qui n'a pas été consumée reste disséminée entre les grenailles du métal et au milieu de la scorie fondue, et qu'elle peut s'opposer à la réunion des matières en un seul culot et à la séparation des substances hétérogènes, si elle se trouve en

trop forte proportion : une trop forte proportion de charbon peut donc faire manquer un essai.

Mais il est un moyen d'employer le charbon à la réduction des oxides, dans lequel on n'a pas à craindre les inconvéniens que peut occasioner un excès de ce combustible lorsqu'on le mélange avec l'oxide ; ce moyen consiste à opérer la réduction par voie de cémentation dans des creusets de charbon, ou dans des creusets brasqués de charbon. (*Voy.* page 34.) Cémentation.

Coke. — A défaut de charbon de bois on pourrait employer du coke ou charbon de houille dans les essais ; mais il ne faudrait pas le prendre au hasard, parce que le plus souvent il renferme une grande proportion de matières terreuses, et qu'il est intimement mêlé de beaucoup de sulfure de fer : il est nécessaire d'en brûler une quantité déterminée pour reconnaître la nature et la propriété des cendres qu'il produit, et l'on ne doit regarder comme propre aux essais que le coke qui donne des cendres à peu près blanches, et dans la proportion de quelques centièmes seulement. Le meilleur coke est d'ailleurs toujours bien loin de valoir le charbon de bois pour opérer les réductions, à cause de la difficulté avec laquelle il se combine à l'oxigène ; difficulté qui oblige à élever beaucoup la température pour que la réduction puisse être complète.

La plupart des lignites donnent un charbon pulvérulent et facile à incinérer : ce charbon est quelquefois aussi pur que le charbon de bois, et il est alors très propre à être employé dans les essais. Les lignites non pyriteux, et qui ne donnent que peu de cendres, pourraient même servir à la réduction sans avoir été préalablement charbonnés, parce que la chaleur en sépare les matières volatiles sans leur faire éprouver ni ramollissement ni changement de volume. Lignites.

La houille a presque toujours l'inconvénient de se boursoufler par la chaleur ; néanmoins, toutes les fois qu'il n'est pas nécessaire d'en employer une très grande proportion pour obtenir la réduction complète d'un oxide, on Houille.

peut s'en servir, en ayant soin d'en faire un choix convenable et de la réduire en poudre très fine.

ARTICLE III. — *Huiles grasses, suif, résines.*

Huiles grasses. — Les *huiles grasses* ou huiles fixes sont des produits immédiats des végétaux. Elles sont visqueuses, d'un jaune verdâtre pâle, légèrement odorantes, et elles ont une saveur faible et douceâtre. Leur densité varie de 0,915 à 0,940. Leur capacité pour le calorique n'est que d'environ moitié de celle de l'eau. Elles n'entrent en ébullition qu'à la température de 330°, et elles sont alors très fluides. Lorsqu'on les distille elles se décomposent; il se dégage des acides *margarique*, *oléique*, etc., puis une huile empyreumatique, et enfin une substance solide jaune rougeâtre, et il reste 0,02 à 0,03 de charbon. Les gaz qui se dégagent en même temps que les produits liquides sont plus abondans au commencement qu'à la fin, et la proportion d'acide carbonique qu'ils contiennent va toujours en diminuant. Quand on chauffe les huiles à une température plus élevée que leur degré d'ébullition elles se résolvent presqu'en totalité en gaz inflammables. On se sert de ces gaz pour l'éclairage : ils produisent beaucoup plus de lumière que les gaz de la houille.

Caractères.

Distillation.

Les huiles grasses exposées à l'air absorbent peu à peu de l'oxigène en augmentant de poids, quoiqu'il s'en dégage une petite quantité d'acide carbonique. Par l'effet de cette absorption elles s'épaississent peu à peu, et quelques-unes, telles que les huiles de noix, de pavot, de chenevis et de lin, se dessèchent même tout-à-fait. Elles ne s'enflamment que lorsqu'elles sont échauffées à un certain degré, et elles produisent en brûlant un tiers de chaleur de plus que le charbon.

Action de l'air.

Elles sont insolubles dans l'eau, solubles en très petite quantité dans l'alcool et très solubles dans l'éther. Elles dissolvent le soufre, le sélénium et le phosphore; le chlore, le brôme et l'iode les attaquent et s'y combinent avec formation d'acide hydrochlorique. Le charbon

Propriétés chimiques.

végétal n'exerce aucune action sur elles; le charbon animal les purifie et leur enlève leur mauvaise odeur. Au contraire, les acides agissent fortement sur les huiles et les transforment en acides gras. Cependant quand on les agite avec une petite quantité d'acide sulfurique concentré, $\frac{1}{164}$ par exemple, on détruit les matières étrangères qui leur donnent une odeur désagréable, sans les attaquer. En y ajoutant ensuite, au bout de quelque temps, deux tiers d'eau, agitant, laissant reposer, l'huile purifiée surnage sans retenir d'acide sulfurique.

Nature. Les huiles fixes et tous les corps gras sont des mélanges ou des combinaisons faibles de deux substances particulières, la *stéarine* et l'*oléine*, et en outre d'une petite quantité de matières colorantes et odorantes. Les corps gras sont liquides lorsque l'oléine domine, et mous ou solides lorsqu'au contraire ils renferment une grande proportion de stéarine. Les bases fortes, la potasse, la soude, les terres alcalines, l'oxide de plomb, l'oxide de zinc, etc., les saponifient. La saponification consiste en ce que la stéarine et l'oléine sont transformées l'une et l'autre en un mélange de trois acides, les acides *stéarique*, *oléique* et *margarique*, qui se combinent avec la base pour former un savon, et en une substance particulière que l'on nomme *glycérine*.

Saponification.

Lorsque l'on fait bouillir les huiles avec $\frac{1}{30}$ de leur poids de litharge, on les rend siccatives : une partie de l'oxide de plomb se réduit, et l'autre reste en combinaison.

Composition. D'après MM. Gay-Lussac et Thénard, l'huile d'olive contient :

0,13336	Carbone.....	0,77213	Eau...	0,10712
	Oxigène.....	0,09451		
	Hydrogène...	0,01261		
	Hydrogène...	0,12075		

Suif. — Le *suif* est un produit immédiat animal analogue aux huiles grasses par ses propriétés chimiques et par sa composition. C'est un corps mou, mais consistant, d'un

beau blanc, translucide, grenu, doué d'une odeur particulière faible, très fusible. Selon M. Chevreul, le suif de mouton contient :

Composition.

Carbone.....	0,78876
Oxigène.....	0,11790
Hydrogène.....	0,09334

Caractères. *Résines.* — Les *résines* sont la plupart solides : il y en a cependant quelques-unes qui sont molles. Les résines solides sont fragiles, à cassure vitreuse et luisante; elles sont souvent transparentes. Leur couleur la plus ordinaire approche du jaune de miel plus ou moins rougeâtre : elles sont presque inodores à l'état de pureté; mais elles acquièrent par le frottement une odeur sensible qui se développe encore plus fortement lorsqu'on les fait fondre. Elles ont souvent une saveur âcre qui paraît être due à des substances étrangères. Leur densité varie de 0,92 à 1,20. Elles ne conduisent pas l'électricité, et elles s'électrisent négativement par le frottement.

Distillation. Elles sont très fusibles, mais on ne peut pas les faire bouillir sans les décomposer, du moins en partie. Elles donnent à la distillation des gaz combustibles, de l'eau acide et des huiles empyreumatiques, et elles laissent du charbon en proportion variable, mais toujours très faible. Elles sont très combustibles, et elles brûlent en se fondant et en répandant une flamme jaunâtre accompagnée de beaucoup de fumée. Elles sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'alcool, dans l'éther, et quelques-unes dans les huiles grasses. Les acides sulfurique, muriatique et acétique les dissolvent à froid sans les altérer, et elles sont précipitées par l'eau de leur dissolution. Lorsqu'on les fait chauffer avec de l'acide sulfurique ou avec de l'acide nitrique, elles se transforment en une espèce de tannin; elles se comportent avec les bases comme de véritables acides, et elles se combinent directement, sans subir aucune transformation, avec les alcalis fixes et avec l'ammoniaque : elles chassent même l'acide carbonique des carbonates alcalins, à la chaleur

Propriétés chimiques.

de l'ébullition. Il résulte de ces combinaisons des savons solubles dont les acides séparent les résines sans altération. Les résines diffèrent beaucoup des huiles grasses par cette propriété : elles ont quelque analogie avec les huiles essentielles.

MM. Gay-Lussac et Thénard ont trouvé dans la colophane : Composition.

0,10718	Carbone.. ...	0,75944	Eau...	0,15156
	Oxigène.....	0,13338		
	Hydrogène....	0,01818		
	Hydrogène....	0,08900.		

Les résines sont souvent mélangées de gomme. On sépare les deux substances l'une de l'autre par l'eau, qui dissout la gomme, ou par l'alcool, qui dissout la résine.

Quoique les substances dont il vient d'être question consomment dans leur combustion une proportion considérable d'oxigène, elles sont rarement suffisantes pour opérer la réduction complète d'un oxide métallique, parce qu'elles sont trop volatiles. Il arrive en général qu'elles se vaporisent à une température inférieure à celle à laquelle la réduction peut avoir lieu, ou que les vapeurs traversent la masse d'oxide trop rapidement pour que celui-ci puisse se réduire en totalité. Très souvent les huiles grasses et les résines n'agissent comme réductifs que par le résidu charbonneux qu'elles laissent lorsqu'elles sont soumises à l'action de la chaleur; mais comme ce résidu n'est que de quelques centièmes, il ne suffit pas pour réduire tout l'oxide. Si l'on examine les diverses circonstances dans lesquelles on prescrivait autrefois de faire usage de ces matières, on se convaincra que leur emploi est presque toujours superflu, et que toutes les fois que l'on obtient une réduction complète, cela vient de ce que l'on opère avec le contact du charbon. Manière d'agir.

Lorsque l'on emploie les huiles grasses ou les résines comme réactifs, sans recouvrir la matière, on est exposé à éprouver des pertes, par suite du bouillonnement qui se manifeste dans le mélange : quand on recouvre la matière de brasque, on n'a pas à craindre cet inconvénient;

mais alors l'addition du réductif est inutile, puisqu'il y a contact de charbon.

Utilité. Il peut être bon d'employer les huiles et les résines lorsqu'on désire faire la réduction par cémentation d'une masse un peu considérable d'oxide ; dans ce cas, après avoir placé l'oxide dans le creuset brasqué, on verse de l'huile dessus par portions successives, et tant qu'il peut en *boire*.

On se sert du suif, et mieux encore de la résine réduite en poudre, pour empêcher un bain métallique de s'oxider à la surface, ou pour réduire la pellicule d'oxide qui s'est formée par le contact de l'air.

ARTICLE IV. — *Sucre, amidon, gommes.*

Caractères. *Sucre.* — Le sucre est solide, blanc, grenu à grains cristallins, susceptible de cristalliser en prismes tétraèdres ou hexaèdres terminés par des sommets dièdres ; les cristaux sont transparens et à cassure vitreuse. Le sucre a une saveur particulière très agréable, mais il n'a pas d'odeur. Sa pesanteur spécifique est de 1,606 ; il est phosphorescent par le frottement. Quand on le râpe, il éprouve un commencement d'altération que l'on reconnaît au goût.

Distillation. Il fond à 150° en un liquide brun, sans perdre sensiblement de son poids ; puis il bouillonne, se boursoufle, et se décompose en laissant dégager des gaz et des vapeurs qui renferment de l'acide acétique, et qui répandent une odeur agréable connue sous le nom d'*odeur de caramel ;* ces vapeurs brûlent dans l'air avec une flamme claire. Il reste après la dissolution 0,14 de charbon très boursouflé et d'un gris métallique éclatant.

Solubilité. Le sucre est soluble dans la moitié de son poids d'eau bouillante. La dissolution saturée ne bout qu'à 150° : placée dans des circonstances convenables, elle fermente et se transforme en alcool. Le sucre est très soluble dans l'alcool, mais en proportion d'autant moindre que celui-ci contient moins d'eau.

Propriétés chimiques. L'acide sulfurique brunit le sucre avec formation d'a-

cide hyposulfurique et sans qu'il se dégage d'acide sulfureux. L'acide nitrique le transforme en acide oxalique sans mélange d'acide mucique. Lorsqu'on le mêle à une dissolution d'acide arsénique, celle-ci devient en quelques heures rose, puis pourpre et enfin brune. Le sucre se combine directement avec toutes les bases fortes, et avec l'ammoniaque; les acides, même l'acide carbonique, le séparent sans altération de ces combinaisons. Il dissout la baryte, la strontiane, la chaux et l'oxide de plomb. Ses dissolutions dans l'eau ne sont pas troublées par l'acétate de plomb. Il réduit les dissolutions d'or, d'argent, de mercure, de cuivre, et ramène à un moindre degré d'oxidation les bases de plusieurs sels.

Le sucre de canne est composé de : Composition.

		Selon Gay-Lussac et Th.		Berzelius.		Prout.
	Carbone.....	0,4247	—	0,4420	—	0,4285
Eau	Oxigène.....	0,5063	—	0,4902	—	0,5715
	Hydrogène...	0,0690	—	0,0678		

D'après les analyses de MM. Gay-Lussac et Thénard, et de M. Prout, on peut le considérer comme formé de 6 atomes de carbone et 5 atomes d'eau, ou de 4 atomes de gaz oléfiant, 4 atomes d'acide carbonique, et 1 atome d'eau. Mais d'après M. Berzelius, il contiendrait 12 atomes de carbone, 10 atomes d'oxigène et 21 atomes d'hydrogène, et il y aurait par conséquent 1 atome d'hydrogène en excès.

Le sucre laissant en se décomposant par la chaleur une proportion de charbon beaucoup plus considérable que les huiles, il paraîtrait qu'on pourrait l'employer comme un très bon agent réductif. Effectivement il y a quelques cas où il peut servir avec avantage; mais malheureusement il a l'inconvénient d'éprouver en se décomposant par la chaleur un boursouflement considérable qui est fort gênant, et qui expose à faire des pertes par projection. Le charbon de sucre est du carbone pur, puisqu'il ne laisse aucun résidu lorsqu'on le brûle. Il serait donc préférable au charbon de bois ordinaire pour Usages.

réduire un oxide dans lequel on ne voudrait introduire absolument aucune matière étrangère.

Caractères. *Amidon.* — Il résulte des recherches microscopiques de M. Raspail, que l'amidon ou fécule est une substance granuleuse dont les grains sont ronds et composés d'une enveloppe tégumentaire extrêmement mince qui renferme une matière liquide dans son intérieur. Ce liquide ne diffère des tégumens qu'en ce qu'il se dissout beaucoup plus facilement dans l'eau. L'amidon a une saveur faible et fade. Sa pesanteur spécifique est de 1,53. Il est insoluble dans l'alcool et dans l'éther. Il forme avec l'eau bouillante ce qu'on appelle *empois* ou *colle*. L'empois paraît se composer d'une véritable solution d'amidon, tenant en suspension des fragmens de tégumens qui deviennent de plus en plus solubles dans l'eau à mesure que l'action de la chaleur se prolonge.

Distillation. Chauffé en vase clos l'amidon se ramollit, s'agglomère sans entrer en pleine fusion, et se décompose sans bouillonner ni changer de volume : il s'en dégage des gaz très combustibles, et il laisse environ 0,05 de charbon métalloïde très poreux et pur.

Propriétés chimiques. L'amidon forme avec l'iode un composé d'un bleu très beau et très intense, et avec le brôme une combinaison de couleur brune. En faisant chauffer l'amidon avec 4 à 5 parties d'eau et 0,02 d'acide sulfurique concentré, il se convertit en sucre de raisin, sans qu'il y ait décomposition d'acide sulfurique. L'acide nitrique bouillant le transforme d'abord en acide malique, et enfin en acide oxalique. Il se dissout sans altération dans la potasse et dans la soude, et il forme des combinaisons insolubles avec tous les oxides métalliques. Ses dissolutions dans l'eau sont précipitées par l'acétate de plomb. Lorsque l'on fait bouillir l'empois étendu d'eau pendant long-temps, ou lorsqu'on le fait chauffer avec de l'acide sulfurique étendu de 12 fois son poids d'eau, il devient soluble comme la gomme. L'amidon sec acquiert la même solubilité lorsqu'on l'a torréfié jusqu'au point de le faire roussir. L'amidon rendu ainsi très soluble se colore en pourpre par l'iode; l'empois

étant exposé à l'air pendant long-temps, devient également soluble et se transforme en *amidine*.

Composition. D'après M. Prout, l'amidon peut, ainsi que le sucre, être considéré comme composé de carbone et d'eau. Il contient :

	Ordinaire.	Chauffé à 100°.	Torréfié.
Carbone.....	0,375 —	0,428 —	0,440
Eau.....	0,625 —	0,572 —	0,560

Usages. L'amidon ordinaire bien desséché et l'amidon torréfié peuvent être employés avec avantage comme réducteurs : cette substance est même préférable au sucre, parce qu'elle n'éprouve ni fusion ni bouillonnement, et dans plusieurs circonstances on doit même la préférer au charbon, surtout lorsqu'elle a été torréfiée, parce qu'elle se trouve naturellement dans un état de division extrême, ce qui permet de la mélanger de la manière la plus intime avec la matière à réduire et avec les flux.

Nature. *Gommes.* — Les *gommes* donnent avec l'eau des mucilages qui ne cristallisent pas, et elles se transforment en *acide mucique* par l'acide nitrique ; elles sont insolubles dans l'alcool. Il y en a trois espèces principales : l'*arabine*, la *cérasine* et la *bassorine*, selon M. Guérin ; et ces trois espèces se trouvent mélangées ensemble en toutes sortes de proportions. Composition. L'*arabine* et la *cérasine* sont deux corps isoméziques composés de :

Carbone.....	0,4381 —	6 atomes
Oxigène.....	0,4985 —	5
Hydrogène....	0,0610 —	10
Azote.....	0,0014	

ou de 6 atomes de carbone et 5 atomes d'eau.

La *gomme arabique* et la *gomme du Sénégal* ont à peu près les mêmes caractères et sont essentiellement composées d'arabine mélangée d'une petite quantité de *chlorophille*, d'une matière analogue à la cire, de malate acide de chaux, de chlorures de calcium et de potassium, et d'acétate de potasse. Gomme arabique. La *gomme arabique* est tantôt incolore, tantôt colorée en jaune, en rouge ou en brun ; ces couleurs disparaissent par une

longue exposition au soleil, et mieux encore par une température de 100°; humectée, elle rougit le tournesol. Sa pesanteur est de 1,355. Elle est cassante, et l'on peut la réduire en poudre impalpable. Par la chaleur elle décrépite légèrement, se ramollit, s'agglomère, bouillonne faiblement sans se boursoufler, et laisse dégager de l'eau très acide, et des huiles qui sont de plus en plus brunes, mais presque inodores, et elle donne 0,155 de charbon. Elle brûle, en se ramollissant, avec une flamme courte, mais claire, et sans répandre d'odeur sensible, et elle produit 0,02 de cendres blanches calcaires. Ainsi elle donne à l'analyse :

Charbon.....	0,135
Cendres.....	0,020
Matières volatiles..	0,845

D'après la quantité de plomb qu'elle produit avec la litharge, on trouve qu'elle équivaut à 0,325 de charbon, à peu près comme le bois non desséché.

Usages. Les gommes pourraient être employées comme réductifs dans les mêmes circonstances que le sucre et l'amidon; mais ces deux dernières substances sont préférables, parce qu'elles ne renferment pas de matières terreuses comme les gommes.

ARTICLE V. — *Acide tartrique.*

Propriétés. L'acide tartrique cristallise en lames ou en prismes tétraèdres aplatis, transparens, incolores et non effleurans; sa saveur est acide faible, mais agréable. Lorsqu'on le chauffe en vase clos, il se fond, bouillonne fortement, et se décompose en laissant dégager des gaz combustibles, des huiles et de l'acide pyrotartrique, et il laisse environ 0,02 de charbon. Il brûle quand on le chauffe au contact de l'air, en répandant une odeur empyreumatique particulière. Il est soluble dans 2 parties d'eau bouillante. Les dissolutions étendues se couvrent de moisissure et se changent peu à peu en acide acétique. Il est un peu soluble dans l'alcool. Le chlore l'attaque à peine; l'acide nitrique le change en acide oxalique, et

l'acide sulfurique, en acide acétique. Distillé avec de l'acide sulfurique et du peroxide de manganèse, il donne naissance à de l'acide formique. Il a une grande tendance à former des sels doubles, et il a la propriété d'empêcher un certain nombre d'oxides d'être précipités de leurs dissolutions par les carbonates et les succinates alcalins, et même quelques-uns par les hydro-sulfates.

Composition. Tel qu'il se trouve dans les sels anhydres, l'acide tartrique contient :

Carbone.....	0,36806	—	4 atomes.
Hydrogène...	0,03004	—	4
Oxigène.....	0,60190	—	5

L'acide tartrique cristallisé renferme de plus 1 atome d'eau qui fait fonction de base.

Préparation. On prépare cet acide en décomposant le tartrate de chaux par les deux tiers de son poids d'acide sulfurique concentré, auquel on ajoute 10 parties d'eau ; et l'on obtient le tartrate de chaux en mêlant à de la crème de tartre de la chaux en excès et du muriate de chaux.

Usages. L'acide tartrique est l'élément réductif de la crème de tartre, réactif dont on fait un fréquent usage ; mais on ne l'emploie jamais à l'état isolé.

ARTICLE VI. — *Acide oxalique et oxalate d'ammoniaque.*

Caractères. *Acide oxalique.* — L'acide oxalique cristallise en longs prismes carrés, terminés par des sommets dièdres, incolores et transparens. Sa saveur est acide et astringente : il rougit fortement les teintures bleues. Pris à la dose de 8 à 10 grains, c'est un poison violent dont l'antidote est l'émétique. Il s'effleurit à l'air, devient opaque, et finit par perdre 0,28 d'eau, ou les deux tiers de ce qu'il en contient. A la température de 98°, il se fond sans se décomposer ; mais lorsqu'on le chauffe jusqu'à 110°, il se change en un mélange de 6 parties d'acide carbonique et de 5 parties d'oxide de carbone et de vapeur d'acide formique ; quand on le chauffe brusquement, quelques parties se volatilisent sans s'altérer. Il ne laisse de résidu de charbon dans aucun cas.

Distillation.

Propriétés chimiques. L'acide oxalique est soluble dans 9 parties d'eau froide, et dans une beaucoup moindre proportion d'eau bouillante; il est aussi très soluble dans l'alcool, dans l'éther et dans les huiles. Les acides forts augmentent en général sa solubilité. L'acide nitrique concentré et bouillant finit par le convertir en acide carbonique. L'acide sulfurique de Nordhausen le change en un mélange de volumes égaux d'acide carbonique et d'oxide de carbone. Il réduit par voie humide un grand nombre d'oxides, et il enlève une partie de leur oxigène à un grand nombre de peroxides, tels que ceux de manganèse, de cobalt, de nickel, etc., en se transformant lui-même en acide carbonique pur.

Composition. Il est composé de :

	Anhydre.		Cristallisé.	
Carbone....	0,3376	—	0,1904	} 1 atome.
Oxigène....	0,6624	—	0,3811	
Eau.....	.....	—	0,4285	3

Il n'existe anhydre que dans ses combinaisons avec les bases. Desséché au-dessous de 98°, il retient 1 atome d'eau qui fait fonction de base. L'acide anhydre peut être considéré comme formé de volumes égaux d'acide carbonique et d'oxide de carbone; l'acide effleuri, comme composé de 1 atome d'acide carbonique et de 1 atome d'hydrogène.

Préparation. On extrait l'acide oxalique de l'oxalate acide de potasse ou sel d'oseille; ou bien on le forme de toutes pièces en traitant par l'acide nitrique du sucre ou diverses autres substances végétales. M. Gay-Lussac a reconnu que, lorsqu'on chauffe à une température ménagée une substance végétale avec de la potasse caustique, elle se transforme presque toujours en acide oxalique qui reste combiné avec l'alcali.

Usages. La propriété qu'a l'acide oxalique de se décomposer par la chaleur sans laisser de résidu, le rendrait précieux pour réduire les oxides métalliques, dans le cas où l'on voudrait éviter que le métal retînt la plus petite trace de charbon, si son pouvoir réductif était plus considérable; mais comme il se décompose à une température

basse, et qu'il n'absorbe en se brûlant qu'une très petite quantité d'oxigène, surtout quand il n'a pas été effleuri, il en faut une proportion énorme pour réduire complètement les oxides métalliques les plus faciles à désoxigéner. Quand il est combiné avec les bases, comme dans le sel d'oseille, en même temps qu'il devient plus fixe, son pouvoir réductif augmente, et il peut être de quelque utilité dans les opérations de la *voie sèche*.

Oxalate d'ammoniaque. — L'oxalate neutre d'ammoniaque cristallise en prismes tétraèdres; sa saveur est amère et piquante. Il est soluble dans 20 parties d'eau froide et dans une moindre quantité d'eau bouillante. Ses dissolutions deviennent acides par l'ébullition. Il est insoluble dans l'alcool. Quand on le chauffe en vase clos, il se décompose en produisant de l'*oxamide* qui se sublime, etc. Il contient : Propriétés. Composition.

Ammoniaque.....	0,323	—	100
Acide oxalique.....	0,677	—	213,4

et 0,252 d'eau, dont il perd la moitié par l'efflorescence. On le prépare en combinant directement l'ammoniaque avec l'acide oxalique. Son pouvoir réductif est à peu près double de celui de cet acide, comme on le verra plus bas. Préparation.

ARTICLE VII. — *Pouvoirs réductifs comparatifs.*

Pour donner une idée du pouvoir réductif des divers *réactifs* que nous venons de passer en revue, nous rapporterons ici le résultat des essais que nous avons faits sur chacun d'eux avec la litharge, suivant le mode que nous avons décrit dans le chapitre consacré aux combustibles (page 228). En chauffant un même poids de chaque réductif avec un excès de litharge, on a des culots de plomb dont les poids sont proportionnels aux quantités d'oxigène absorbées; ces poids, comparés entre eux, donnent donc les rapports de la faculté réductive des *réactifs* employés. En prenant pour unité le poids du *réactif*, on trouve, par calcul, que le carbone pur

pourrait produire avec la litharge 34,31 de plomb, et l'on a eu par expérience :

Pour le charbon de bois calciné.....	31,80
Pour le charbon de bois ordinaire...	28,00
Pour l'huile animale.....	17,40
Pour la résine.....	14,50
Pour la résine succinique.....	30,00
Pour le suif.....	15 20
Pour le sucre.....	14,50
Pour l'amidon ordinaire.....	11,50
Pour l'amidon torréfié.....	13,00
Pour la gomme arabique.....	11,00
Pour l'acide tartrique.....	6,00
Pour l'oxalate d'ammoniaque.....	1,70
Pour l'acide oxalique.....	0,90

Mais il est essentiel de remarquer que ces nombres ne représentent pas les rapports des quantités d'oxigène que chaque *réactif* pourrait absorber s'il se brûlait complètement, et qu'ils n'indiquent les pouvoirs réductifs de ces *réactifs* que pour des oxides qui se réduisent à peu près à la même température que la litharge.

Dans les essais par la *voie sèche* il est rare que l'on emploie les réductifs dont nous venons de nous occuper, sans aucune addition; le plus souvent on les mêle ou on les combine à l'avance avec d'autres substances. Ces mélanges et ces combinaisons sont désignés ordinairement sous le nom de *flux réductifs;* nous les ferons connaître quand nous nous occuperons des *réactifs fondans.*

ARTICLE VIII. — *Fer et plomb métalliques.*

Fer. — Le fer enlève l'oxigène aux oxides de plomb, de bismuth, de cuivre, etc.; cependant on ne l'emploie presque jamais comme réductif; et s'il produit quelquefois cet effet, c'est secondairement, parce qu'il se trouve dans les matières dont on a fait l'essai, ou parce qu'on en a ajouté dans un autre but.

Plomb. — Le plomb ne réduit qu'un petit nombre d'oxides, mais il en ramène quelques-uns au *minimum*

d'oxidation, et il décompose quelques sulfates et quelques arséniates ; il agit quelquefois comme réductif dans la scorification.

SECTION II.

Réactifs oxidans.

Les *réactifs* que l'on emploie pour oxider, et ceux qui, quoique n'étant ordinairement pas destinés à cet usage, produisent cependant cet effet dans un grand nombre de circonstances, sont :

1°. L'*oxigène de l'air ;*
2°. La *litharge et la céruse ;*
3°. Les *silicates et les borates de plomb ;*
4°. Le *nitrate de potasse ;*
5°. Le *nitrate de plomb ;*
6°. Le *peroxide de manganèse ;*
7°. Le *deutoxide de cuivre ;*
8°. Le *peroxide de fer ;*
9°. Les *alcalis caustiques ;*
10°. Les *carbonates alcalins ;*
11°. Les *sulfates de plomb, de cuivre* ou *de fer ;*
12°. Le *sulfate de soude.*

ARTICLE 1er. *Oxigène de l'air.*

Propriétés.

L'oxigène de l'air agit comme oxidant dans l'opération du grillage, que nous avons décrite (p. 27), et dans la scorification et la coupellation, dont nous nous occuperons plus tard.

Oxigène. — L'oxigène est un gaz incolore, inodore et sans saveur ; sa densité à 0° est de 1,1026 ; l'eau en absorbe au plus les $\frac{35}{1000}$ de son volume. C'est le seul gaz qui soit respirable, et qui puisse entretenir l'existence des animaux et des végétaux. Il a la propriété de pouvoir se combiner avec tous les corps, et ses affinités sont très énergiques. Le phénomène, que l'on nomme vulgairement combustion est un acte dans lequel il y a chaleur et lumière produites par la combinaison de cer-

tains corps avec l'oxigène. C'est au poids de l'atome d'oxigène pris pour unité, que l'on est dans l'usage de rapporter le poids de l'atome de tous les autres corps.

Composition. *Air atmosphérique.* — L'air atmosphérique est un mélange de gaz oxigène et de gaz azote dans la proportion de :

	En volume.		En poids.
Oxigène.....	0,210	—	0,232
Azote.....	0,790	—	0,768

il contient toujours, en outre, du gaz acide carbonique dans la proportion de 0,00048 à 0,00071 en volume, et de 0,00073 à 0,00101 en poids, et de la vapeur d'eau dans la proportion de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{60}$ en poids. C'est à la densité de l'air que l'on compare la densité de tous les autres gaz, à la température de 0° et sous la pression de 76 centimètres de mercure. Sa densité est de 0,0013 comparée à celle de l'eau.

L'air agit sur les corps comme le gaz oxigène, mais avec moins d'énergie, et à cause de cela il produit une moins haute température en les brûlant.

ARTICLE II. *Litharge et céruse.*

§ 1er. — Propriétés.

Usages. *Litharge.* — La litharge est le protoxide de plomb fondu que l'on obtient dans les usines où l'on soumet le plomb à la coupellation pour en extraire l'argent.

La litharge oxide la plupart des métaux, excepté le mercure, l'argent et les chrysides, et elle forme en général des combinaisons très fusibles avec les oxides : ces deux propriétés en font un *réactif* très précieux pour séparer l'or et l'argent de toutes les substances avec lesquelles ils peuvent se trouver mélangés ou combinés. On se procure facilement de la litharge dans le commerce; il faut se servir de préférence de la litharge rouge, parce que cette variété est la plus pure.

Nature La litharge est essentiellement composée de protoxide de plomb, mais elle contient toujours une certaine quan-

tité d'oxide rouge, et c'est à cet oxide qu'elle doit la nuance qu'elle possède ordinairement. La présence de l'oxide rouge de plomb dans la litharge est le plus souvent sans inconvénient; cependant s'il était en trop forte proportion, il pourrait arriver qu'il fût nuisible, parce qu'il a la propriété d'oxider l'argent. La litharge jaune vaudrait donc mieux pour les essais que la litharge rouge; si nous avons conseillé de préférer cette dernière, c'est parce que la litharge jaune que l'on trouve dans le commerce est ordinairement fort impure; au surplus, toutes les fois que l'on aura absolument besoin de litharge jaune pure, il sera très facile de s'en procurer; il suffira pour cela de fondre, le plus rapidement possible, de la litharge rouge dans un creuset de terre, et de la faire refroidir promptement hors du contact de l'air, soit dans le creuset, soit en la coulant dans une lingotière froide. La tendance qu'a la litharge à absorber l'oxigène atmosphérique est telle, que l'on ne peut guère éviter qu'il se produise un peu d'oxide rouge à la surface des masses, et que si on la laissait refroidir lentement, elle reprendrait en totalité la teinte rouge qu'elle avait avant d'avoir été fondue.

Céruse. — La céruse est du carbonate de protoxide de plomb. Comme elle ne contient pas du tout d'oxide rouge, elle est préférable à la litharge quand on craint la présence de cet oxide; mais elle a l'inconvénient d'être plus légère que la litharge, et d'obliger par conséquent à employer des vases plus grands; en outre, comme elle contient toujours une certaine quantité d'acétate ou de sous-acétate de plomb, il s'en sépare jusqu'à 0,05 de plomb métallique lorsqu'on la fait fondre, et il y a des cas où cela peut être incommode et même nuisible. Quand on veut employer de la céruse, il faut, d'une part, en fondre une certaine quantité sans aucune addition, pour savoir combien elle donne de plomb; et, d'un autre côté, rechercher si elle n'est point mélangée de sulfate de baryte, comme cela arrive souvent. Lorsqu'elle est pure elle se dissout en totalité dans l'acide acétique ou dans l'acide

Inconvénients.

Essai.

nitrique; quand elle contient du sulfate de baryte on en détermine la proportion en prenant le poids de la partie qui ne se dissout pas dans ces acides.

§ 2. — Action sur les métaux.

Nous allons faire connaître avec détails l'action que l'oxide de plomb exerce sur le soufre, le sélénium, le tellure et l'arsenic, et sur les métaux les plus usuels.

Toutes les expériences que nous allons rapporter ont été faites dans un petit fourneau d'essai qui donnait une température de 50 à 60° p.

Soufre. — L'oxide de plomb est complètement réduit par le soufre, qu'il transforme en acide sulfureux, sans qu'il se forme jamais d'acide sulfurique.

Sélénium. — Il dissout le sélénium en toutes proportions, mais sans qu'il y ait réaction des deux substances l'une sur l'autre. (*Voy.* le chapitre relatif aux propriétés du plomb.)

Tellure. — Il attaque facilement le tellure, qu'il convertit en acide tellurique, et cet acide reste combiné avec l'oxide de plomb, lorsque celui-ci est employé en excès. Dans le cas contraire, l'acide se volatilise pour la plus grande partie, et il se produit en même temps du tellure de plomb.

Arsenic. — Lorsqu'on chauffe de l'arsenic métallique avec de la litharge, si celle-ci est employée en grand excès, tout l'arsenic est oxidé; sinon une partie de cette substance se volatilise, une autre partie s'oxide et produit du plomb, et le reste forme avec le plomb un arséniure sur lequel la scorie n'a pas d'action.

Les mélanges de :

Arsenic.....	75g,24.	2at	—	37g,60.	1at	—	9g,40. 1at
Litharge....	111,60.	1	—	111,60.	1	—	111,60. 4

nous ont donné :

Le premier un culot métallique très lamelleux, et une scorie compacte, vitreuse, d'un beau jaune orange : la fusion a été accompagnée d'une fumée arsenicale considérable ;

Le second un culot métallique demi ductile, à cassure lamelleuse, semblable à de la galène, mais moins bleu, et une scorie vitreuse transparente et du plus beau jaune-orange;

Le troisième un culot de plomb ductile, et une scorie d'un gris olivâtre foncé, très cristalline, à grandes lames. La fusion a eu lieu sans fumée. Il est probable que dans ces réactions il ne se forme que de l'acide arsénieux; la dernière scorie devait en contenir environ le cinquième de son poids.

On voit que les arsénites de plomb qui ne renferment pas un certain excès de base sont sans action sur les arséniures de plomb.

Acide arsénieux et plomb.

Le plomb réduit en partie l'acide arsénieux pur, tout comme l'arsenic réduit en partie l'oxide de plomb:

2^{at} d'acide arsénieux.....	12^{g}40
3 de plomb en copeaux.	38,80

se fondent en répandant une fumée arsenicale très abondante, et produisent 32^{g} d'arséniure de plomb demi ductile, à cassure grenue, d'un gris très foncé, et de l'arsénite de plomb vitreux du plus beau jaune-orange.

Antimoine. — Les deux mélanges suivans d'antimoine métallique en poudre et de litharge:

Antimoine métallique.....	10^{g}	—	10^{g}
Litharge.....	40	—	80

ont donné:

Le premier 23^{g} de plomb et une scorie bien fondue, compacte, et d'un beau jaune de topaze, qui devait contenir plus du tiers de son poids de protoxide d'antimoine;

Le second 26^{g} de plomb et un verre très fluide qui, refroidi rapidement, était opaque et ressemblait à de la cire jaune; il devait contenir:

Oxide de plomb.....	52^{g}	—	0,78
Protoxide d'antimoine.....	11,86	—	0,22

L'antimoine n'est évidemment oxidé qu'au *minimum*, car s'il se changeait en deutoxide, il se produirait plus de 33^{g} de plomb.

Étain. — Nous avons chauffé de l'étain laminé et dé-

coupé en très petites parties, avec les proportions suivantes de litharge :

Étain.....	10^g	—	10^g	—	10^g
Litharge.....	37,5	—	80	—	120

Le premier mélange a donné une matière scoriforme non fondue, d'un gris mat, contenant à la partie inférieure des grenailles de plomb. Si l'étain se fût oxidé au *maximum*, toute la litharge aurait dû se réduire; il paraît donc qu'il ne s'est oxidé qu'au *minimum*, et que le protoxide est resté en combinaison avec la litharge non réduite.

Le second mélange a donné 26^g de plomb et une scorie fondue, mais pâteuse, compacte, opaque, matte, d'un jaune grisâtre; elle devait contenir :

Oxide de plomb.....	52^g	—	0,82
Protoxide d'étain.....	11,4	—	0,18

Le troisième mélange a produit 26^g,3 de plomb et une scorie très fluide, compacte, opaque, à cassure grenue, d'un jaune grisâtre, et qui devait contenir :

Oxide de plomb.....	97^g,0	—	0,895
Oxide d'étain.....	11,4	—	0,105

Zinc. — 10^g de zinc métallique en limaille et 100 de litharge ayant été chauffés ensemble ont réagi l'un sur l'autre aussitôt que la litharge a commencé à se ramollir; il y a eu bouillonnement, et légère flamme de zinc; en donnant un coup de feu, la matière est entrée en pleine fusion, et l'on a eu un culot de plomb ductile et pur pesant 13^g, et une scorie cristalline comme la litharge, mais à très petites lames, opaque et d'un jaune pâle. Il résulte de cette expérience, que le cinquième du zinc employé s'est volatilisé, pendant que le reste a été réduit par la litharge; et que la scorie devait contenir environ :

Oxide de plomb.....	0,877
Oxide de zinc.....	0,123

d'où l'on voit que pour faire fondre l'oxide de zinc il faut sept à huit fois son poids de litharge.

Bismuth.— 20^g de bismuth, chauffés avec 40^g de litharge, ont donné un culot métallique ductile, d'un

blanc d'étain, pesant 243, et une scorie cristalline ayant le même aspect que la litharge pure; si le bismuth se fût oxidé, le culot aurait été du plomb pur, et aurait pesé 28ᵍ,5. Le résultat obtenu prouve qu'il ne s'en est réellement oxidé qu'environ la moitié. Cet effet est dû soit à la grande fusibilité du métal, par suite de laquelle il se peut qu'il échappe en partie à l'action de la litharge, soit, ce qui est plus probable, à ce que l'oxide de plomb saturé d'oxide de bismuth perd la faculté d'oxider ce dernier métal.

Fer. — Nous avons chauffé du fer métallique avec de la litharge dans les proportions suivantes :

Fil de fer découpé.....	10ᵍ.....	10ᵍ
Litharge.....	100.....	160

Le premier mélange a donné 40ᵍ de plomb, et une scorie pâteuse, compacte, opaque, d'un noir foncé métalloïde, très magnétique et ressemblant à une scorie de forge ; il n'y avait pas de fer métallique, mais on distinguait quelques grenailles de plomb. La scorie devait contenir environ.

Oxide de plomb.....	55,9	—	0,80
Oxide de fer.....	13,4	—	0,20

Le second mélange a donné un culot de plomb pesant 46ᵍ,6, et une scorie très fluide, compacte, opaque, à cassure inégale, luisante, d'un brun très foncé un peu métalloïde, très magnétique. Si, dans ces expériences, le fer ne s'était oxidé qu'au *minimum*, il ne se serait produit que 38ᵍ,85 de plomb ; s'il eût été amené à l'état d'oxide magnétique, on aurait eu 51ᵍ,8 de plomb ; il est probable qu'il prend un état intermédiaire identique avec l'oxide des battitures. La scorie devait contenir à peu près :

Oxide de plomb.....	110ᵍ	—	0,892
Oxide de fer.....	13,4	—	0,108

Cuivre. — La litharge n'oxide le cuivre qu'au premier degré, et elle ne peut pas être complètement réduite par ce métal. Les scories contiennent des proportions d'oxide de plomb et de protoxide de cuivre qui varient selon

les quantités relatives de cuivre et d'oxide de plomb employées ; elles sont toujours très fusibles. Quand on les refond avec du plomb ou avec du cuivre, il s'en précipite une certaine quantité de cuivre ou de plomb métalliques.

Voici les résultats que nous avons obtenus avec des mélanges différens :

Cuivre..	15g,8. 4at	— 15g,8. 2at	— 15g,8. 1at	— 15g,8 1at — 15g,8. 1at
Litharge.	13,9. 1	— 27,9. 1	— 55,8. 1	— 167,4. 3 — 334. 8. 6

Avec le premier mélange on a eu un culot métallique rouge de cuivre à l'extérieur, gris homogène à l'intérieur, pesant 17g, et une scorie compacte, opaque, d'un rouge foncé.

La scorie devait contenir (*) :

Oxide de plomb.....	10g,3	—	0,81
Protoxide de cuivre.....	2,4	—	0,19

et le culot :

Cuivre.....	13,6	—	0,80
Plomb.....	3,4	—	0,20

Avec le second mélange, on a eu un culot métallique rouge de cuivre à l'extérieur, gris tacheté de rouge à l'intérieur, pesant 17g,8, et une scorie compacte, opaque, d'un rouge-brun ; la scorie devait contenir :

Oxide de plomb.....	22g,3	—	0,86
Protoxide de cuivre.....	3,6	—	0,14

et le culot :

(*) Voici comment on peut déterminer par le calcul la composition de la scorie et du culot, lorsqu'on connaît avec exactitude le poids de celui-ci. Si l'on désigne par P le poids du plomb réduit, par C le poids du cuivre oxidé, et par N la différence de poids du culot au poids du cuivre employé, on aura $P - C = N$: or la quantité d'oxigène que P a abandonnée s'est portée tout entière sur C, et les quantités de plomb et de cuivre que peuvent oxider une même quantité d'oxigène sont entre elles :: 129 : 79; on a donc $C = \frac{79N}{129}$. Lorsqu'on connaît la composition du culot, on en déduit aisément la composition de la scorie.

Cuivre.....	12,4	—	0,70
Plomb.....	5,2	—	0,30

Avec le troisième mélange on a eu un culot métallique semblable au précédent, pesant 18^{g}, et une scorie compacte, opaque, d'un rouge foncé. La scorie devait contenir :

Oxide de plomb.....	49^{g},8	—	0,93
Protoxide de cuivre.....	3,8	—	0,07

et le culot :

Cuivre.....	12,4	—	0,685
Plomb.....	5,6	—	0,315

Avec le quatrième mélange on a eu un culot métallique gris, pesant 25^{g},6, et une scorie un peu cristalline d'un rouge-brun. La scorie devait contenir :

Oxide de plomb.....	151^{g},28	—	0,936
Protoxide de cuivre.....	10,32	—	0,064

Enfin avec le dernier on a eu un culot métallique gris, pesant 23^{g},6, et une scorie cristalline à grandes lames comme la litharge, d'un jaune verdâtre avec reflets rougeâtres. L'analyse du culot métallique a donné :

Cuivre.....	3^{g},6	—	0,15
Plomb.....	20,0	—	0,85

La scorie devait par conséquent contenir :

Oxide de plomb.....	313^{g},28	—	0,958
Protoxide de cuivre.....	13,72	—	0,042

Nous pensons qu'il sera utile de faire connaître ici l'action des oxides de cuivre sur le plomb.

Deutoxide de cuivre et plomb.

Le deutoxide de cuivre est très facilement ramené en totalité à l'état de protoxide par le plomb en excès; si le plomb n'est pas en excès, il s'oxide tout entier en ramenant au *minimum* une quantité correspondante de deutoxide de cuivre.

Le protoxide est réduit à l'état métallique par le plomb, mais non pas complètement, parce que l'oxide de plomb qui se forme en retient en combinaison une certaine partie. Nous avons soumis à l'expérience les mélanges suivans :

Plomb métalliq.	25ᵍ,9. 1	— 25ᵍ,9. 1ᵃᵗ	— 25ᵍ,9. 1ᵃᵗ — 38ᵍ,8. 1ᵃᵗ½ — 51ᵍ,8.
Deutoxide decuivre.	19 ,8. 2	— 14 ,9. 1 ½	— 9 ,9. 1 — 9 ,9. 1 — 9 ,9. 1

tous ont donné un alliage imparfait de cuivre et deplomb, et une scorie extrêmement fusible, composée d'oxide de plomb et de protoxide de cuivre.

Avec le premier on a eu une très petite grenaille de cuivre, et une scorie très fluide ayant une grande tendance à traverser les creusets, dans lesquels il est beaucoup plus difficile de la contenir que la litharge. Refroidie lentement, elle était d'un brun rougeâtre, opaque, à texture lamellaire présentant beaucoup d'indices de cristallisation à la surface. Elle devait être composée de (*) :

Oxide de plomb.....	27ᵍ,9	— 0,607	— 1ᵃᵗ
Protoxide de cuivre.....	17,8	— 0,393	— 2

Avec le second mélange, on a eu un culot métallique rouge de cuivre pesant 4ᵍ,4, et une scorie d'un rouge-brun foncé qui s'était en partie infiltrée dans la paroi du creuset. La scorie devait contenir :

Oxide de plomb.....	27ᵍ,7	— 0,76
Protoxide de cuivre.....	8,7	— 0,24

le culot ayant donné à l'analyse :

Cuivre.....	4ᵍ,1	— 0,932
Plomb.....	0,3	— 0,068

(*) Soit S le poids de la scorie, poids que l'on a par différence, lorsqu'on a pesé le culot métallique; soient O la quantité d'oxigène contenue dans la scorie, quantité qui est celle que renferme le deutoxide de cuivre, P le poids de l'oxide de plomb, et C le poids du protoxide de cuivre contenu dans la scorie; on a

$$P + C = S \quad \text{et} \quad C = \frac{P \times 717}{10{,}000} + \frac{C \times 112}{10{,}000} = O,$$

d'où l'on tire

$$C = \frac{O \times (10{,}000) - 717 \times S}{403}, \text{ etc.},$$

en admettant dans l'oxide de plomb 0,717 d'oxigène et 0,112 dans le protoxide de cuivre.

Le troisième mélange a donné un culot métallique pesant 8ᵍ,8, et une scorie d'un rouge foncé, opaque, et ne présentant aucun indice de cristallisation. Cette scorie devait contenir :

Oxide de plomb.....	24ᵍ,89	—	0,92
Protoxide de cuivre.....	2,11	—	0,08

et le culot :

Cuivre.....	5,9	—	0,67
Plomb.....	2,9	—	0,33

Avec les quatrième et cinquième mélanges on a eu des culots métalliques qui pesaient 21ᵍ,2 et 34ᵍ,8, et des scories absolument semblables aux précédentes, et contenant comme elles environ 0,08 de protoxide de cuivre.

Dans les trois dernières expériences la quantité de cuivre réduit a été à peu près la même, quoique les quantités de plomb employées fussent très différentes. Ce résultat dépend principalement de ce que le plomb ayant une très grande fusibilité, tombe promptement au fond du creuset et échappe ainsi à l'action des oxides.

ARTICLE III. — *Silicates et borates de plomb.*

Les *silicates* et les *borates de blomb* (v. *Section* v) se comportent avec les métaux comme la litharge, mais ils les oxident moins facilement, et ils exigent pour cela une température d'autant plus haute, qu'ils renferment plus de silice ou d'acide borique. On les emploie à la place de la litharge, lorsque la silice ou l'acide borique sont nécessaires pour rendre les scories bien fluides. On se sert des silicates et des borates préparés avec : Manière d'agir. Préparation.

Silice ou acide borique.....	1	—	1
Litharge.....	1	—	3

On chauffe les deux matières bien mélangées jusqu'à fusion complète, on coule dans une lingotière, on pile et l'on tamise. Les borates sont beaucoup plus fusibles que les silicates, mais ils ont l'inconvénient de se boursoufler beaucoup. Quand on veut faire usage des silicates, on peut presque indifféremment ou les préparer

à l'avance, ou mélanger immédiatement de la litharge et du sable en proportions convenables.

ARTICLE IV. — *Nitrate de potasse, nitre, salpêtre.*

Caractères. Le nitre cristallise en longs prismes à six pans, presque toujours cannelés, transparens, et inaltérables à l'air; il a une saveur fraîche, âcre et amère. 100 p. d'eau à zéro en dissolvent 13 p., et à 97°,236 p. l'alcool absolu ne le dissout pas; l'alcool à 0,83 en dissout une petite quantité. Il se dissout en plus grande proportion dans une solution de sel marin que dans l'eau pure.

Propriétés. Le nitre entre en pleine fusion sans subir d'altération à une chaleur inférieure au rouge; lorsqu'on le chauffe plus fortement il abandonne de l'oxigène et se transforme d'abord en nitrite, et ensuite en un composé moins oxigéné. S'il y a contact d'une substance siliceuse, la décomposition peut être complète, et il se dégage du protoxide d'azote et même de l'azote. Il détone très fortement avec la plupart des combustibles. Il oxide un très grand nombre de métaux et les amène au *maximum* d'oxidation, mais il est sans action sur l'argent et sur l'or.

Manière d'agir. Ce sel est un oxidant très énergique, parce qu'il a une grande tendance à se décomposer, et parce qu'il renferme une grande proportion d'oxigène. Le gaz qui s'en dégage est différent, selon les circonstances. Lorsque le sel se trouve en excès par rapport à la matière décomposante, ce gaz est le plus souvent du deutoxide d'azote, que l'on reconnaît aux vapeurs rouges qu'il produit au contact de l'air; alors le nitre cède à la matière oxidable 0,237 d'oxigène. Lorsqu'au contraire le nitre n'est pas en proportion suffisante pour oxider complètement la substance décomposante, il s'en dégage de l'azote presque toujours pur, et alors il cède à ces substances 0,395 d'oxigène.

Composition. Ce sel est composé de :

Potasse.....	0,4655	—	100	KN^5
Acide nitrique.....	0,5345	—	114,82	

Son atome pèse 1267,56.

On se sert du nitre comme oxidant, pour purifier les métaux fins, pour préparer le flux noir et quelques autres flux, etc. On le trouve en abondance dans le commerce. On doit toujours employer du nitre pur, dit *nitre de troisième cuite*. Usages

ARTICLE V. — *Nitrate de plomb.*

Le nitrate de plomb est un oxidant très puissant, parce qu'il se décompose facilement, et qu'il agit par ses deux élémens, l'acide nitrique et l'oxide de plomb. On le prépare en traitant de la litharge par de l'acide nitrique du commerce, dissolvant le sel dans l'eau et faisant cristalliser.

ARTICLE VI. — *Peroxide de manganèse.*

Le peroxide de manganèse est facilement ramené à l'état de protoxide par un grand nombre de métaux; c'est donc un oxidant énergique; on l'emploie rarement cependant, parce qu'il produit des scories trop peu fusibles : on s'en sert quelquefois pour purifier l'or et l'argent. On trouve du peroxide de manganèse dans le commerce; le plus pur est celui de Cretnich, près de Saarbruck.

ARTICLE VII. — *Deutoxide de cuivre.*

Le deuxtoxide de cuivre n'est pas employé comme réactif; mais il fait souvent partie des matières à essayer, et alors il peut arriver qu'il agisse comme oxidant. Un grand nombre de métaux, même l'argent, le ramènent au *minimum* d'oxidation; le plomb le réduit en partie à l'état métallique (*voy.* p. 387); d'autres métaux, comme le fer, le réduisent en totalité.

ARTICLE VIII. — *Peroxide de fer.*

Le peroxide de fer n'est pas non plus au nombre des réactifs ordinaires de la voie sèche, mais il agit quelquefois accidentellement comme oxidant : quand cela a lieu, il n'est presque jamais ramené qu'à l'état de protoxide.

ARTICLE IX. — *Alcalis caustiques.*

Les alcalis caustiques, la potasse et la soude, sont des hydrates d'oxides.

Caractères. *Potasse* — La potasse est solide, d'un blanc perlé, cassante, à cassure unie, faiblement translucide lorsqu'elle a été fondue ; mais on peut l'obtenir, par voie humide, en cristaux transparens : elle a une saveur excessivement caustique, et elle exhale une forte odeur de lessive.

Calcination. Elle se fond au-dessous de la chaleur rouge, et à cette température elle commence à se volatiliser sensiblement. A une température plus élevée elle produit des vapeurs abondantes. Chauffée au contact de l'air, à la chaleur rouge, elle se convertit en peroxide en abandonnant de l'eau ; mais comme l'air est toujours mélangé d'acide carbonique, il se produit en même temps du carbonate de potasse.

Propriétés. La potasse attire très rapidement l'humidité atmosphérique et tombe en déliquescence ; elle se dissout dans l'eau en développant une très forte chaleur. Elle est soluble dans l'alcool, mais plus à chaud qu'à froid, et la liqueur saturée dépose des cristaux par refroidissement. Le charbon décompose l'eau combinée dans la potasse, et convertit l'hydrate en carbonate ; mais un excès de ce combustible décompose le carbonate lui-même et en dégage le potassium. Le soufre, le phosphore, etc., peuvent aussi séparer l'eau de l'hydrate en la décomposant. Il en est de même du fer, du zinc, et de tous les métaux qui sont très avides d'oxigène. Tous les acides, même l'acide carbonique, en chassent l'eau, à laquelle ils se substituent. Un grand nombre de bases ayant la propriété de se combiner avec le deutoxide de potassium par la voie sèche, produisent le même effet. La potasse dissout un certain nombre d'oxides par la voie humide ; tels sont la glucine, l'alumine, l'oxide de zinc, etc. Elle agit sur les sulfures à peu près de la même manière que les carbonatates alcalins, mais plus énergiquement.

Elle est composée de : Composition.

Deutoxide de potassium...	0,840	—	100	$\dot{K} + Aq$
Eau.....	0,160	—	19,05	

La potasse cristallisée, et même la potasse fondue, mais qui n'a pas été chauffée au rouge, renferment, outre l'eau combinée, une certaine quantité d'eau de cristallisation qui n'a pas été déterminée, et qui varie d'ailleurs avec le degré de chaleur auquel l'hydrate a été soumis. Le deutoxide de potassium, qui fait la base de la potasse, contient :

Potassium.....	0,8305	—	100	$\dot{K}$
Oxigène.....	0,1695	—	20,41	

Son atome pèse 589,916.

On prépare la potasse en décomposant son carbonate par le moyen de la chaux caustique. Préparation.

Soude. — La *soude* est semblable à la potasse par son aspect et par l'ensemble de ses propriétés ; elle en diffère principalement en ce qu'elle forme des sels qui renferment beaucoup d'eau de cristallisation et qui sont efflorescens, et en ce qu'elle produit des savons durs avec les corps gras, tandis que les savons de potasse sont mous. Propriétés.

La soude contient : Composition.

Deutoxide de sodium.	0,7766	—	100	$\dot{N} + Aq$
Eau.....	0,2234	—	28,7	

Le deutoxide de sodium contient :

Sodium..... ..	0,7442	—	100	$\dot{N}$
Oxigène.....	0,2558	—	34,372	

Son atome pèse 390,877.

ARTICLE X. *Carbonate de potasse ou de soude.*

Les carbonates alcalins sont des réactifs dont on fait un très grand usage dans la voie sèche. Ils ont la propriété d'oxider quelques métaux, comme le fer, le zinc, l'étain, par l'action de l'acide carbonique qu'ils renferment : une partie de cet acide est alors décomposée et transformée en oxide de carbone, et il se produit un composé qui est formé d'alcali, d'acide carbonique et d'oxide Manière d'agir.

métallique. Avec le fer, il résulte une matière compacte, grenue, opaque, d'un gris foncé, très magnétique. Avec le zinc, une matière blanche : pendant l'opération, il se vaporise du zinc qui s'enflamme. Avec l'étain on a une matière très fluide, compacte, cristalline et d'un jaune de cire.

Les carbonates alcalins n'attaquent ni le plomb, ni le cuivre, ni l'antimoine. Nous dirons à l'article des *fondans*, comment on prépare ces réactifs.

ARTICLE XI. — *Sulfates de plomb, de cuivre ou de fer.*

Propriétés. Ces trois sels ont la propriété d'oxider la plupart des métaux, même l'argent; c'est l'acide sulfurique qui produit l'oxidation et dégage de l'acide sulfureux. On prescrit de les employer dans quelques méthodes d'essai de substanees aurifères. On les trouve tous trois dans le commerce. Le premier est anhydre; le second doit être calciné à une température ménagée, pour en chasser l'eau de cristallisation. Quant au sulfate de fer, il faut le griller pour l'amener à l'état de persulfate.

ARTICLE XII. *Sulfate de soude.*

Propriétés. Le sulfate de soude cristallise en prismes hexaèdres cannelés, terminés par des sommets dièdres. Il est d'une transparence parfaite, mais il s'effleurit très promptement à l'air. Sa saveur est amère, fraîche et salée. L'eau à 0° en dissout 0,95, et à 100°, 0,41. Il est insoluble dans l'alcool à 25°. Lorsqu'on le chauffe, il se fond promptement dans son eau de cristallisation; puis il se dessèche, et à la chaleur rouge il éprouve la fusion ignée et devient très fluide et transparent. Le sulfate fondu se prend en masse blanche, translucide et très cristalline, par le refroidissement. Le sel cristallisé contient 0,5576 d'eau. Le sel anhydre est composé de :

Composition

100	Soude.....	0,4382	NaS^3
128,20	Acide sulfurique...	0,5618	

Son atome pèse 892,062.

Le sulfate de soude ne sert pas comme réactif, mais il fait souvent partie des matières qui proviennent d'un essai, soit parce qu'il se forme pendant l'opération, soit parce que divers réactifs en contiennent accidentellement. Comme il retient très fortement l'acide sulfurique, son action comme oxidant est très bornée; il n'attaque que les métaux très avides d'oxigène, le fer et le zinc, par exemple. Manière d'agir.

SECTION III.

Réactifs désulfurans.

Les réactifs désulfurans sont :

1°. L'*oxigène de l'air*,
2°. Le *charbon*,
3°. Le *fer métallique*,
4°. La *litharge*,
5°. Les *alcalis caustiques*,
6°. Les *carbonates alcalins*,
7°. Le *nitre*,
8°. Le *carbonate de plomb*,
9°. Le *sulfate de plomb*.

ARTICLE PREMIER. — *Oxigène de l'air.*

L'oxigène de l'air agit comme désulfurant dans l'opération du grillage. Quand on grille un sulfure, le soufre et le métal absorbent en même temps l'oxigène atmosphérique, et la plus grande partie du soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux. (*Voy.* page 27.) Manière d'agir.

ARTICLE II. — *Charbon.*

Le charbon a la propriété de décomposer quelques sulfures en se combinant avec le soufre pour former du sulfure de carbone; c'est ainsi qu'il se comporte avec les sulfures de mercure, d'antimoine et de zinc. Cependant on ne l'emploie que comme auxiliaire propre à augmenter l'énergie désulfurante des alcalis et des carbonates alcalins. Manière d'agir.

ARTICLE III. — *Fer métallique.*

Usage. Le fer enlève le soufre à l'argent, au mercure, au plomb, au bismuth, à l'étain, à l'antimoine et au zinc ; mais il ne décompose les sulfures de cuivre que partiellement. On s'en sert fréquemment dans les essais : on l'emploie en limaille, à l'état de petits clous, ou, ce qui est plus commode, en fils fins que l'on coupe en morceaux très courts ; il faut le conserver dans des flacons bien bouchés, pour éviter qu'il ne se rouille. Dans plusieurs circonstances on peut remplacer le fer métallique par un oxide de fer pur, des battitures par exemple, réduit en poudre très fine et mêlé avec la quantité de charbon précisément nécessaire pour le réduire. On peut aussi faire usage de la fonte granulée, dont les chasseurs se servent ; mais il faut remarquer que la fonte n'a pas sur les sulfures une action aussi forte, à beaucoup près, que le fer ductile.

ARTICLE IV. — *Litharge.*

Manière d'agir. — La litharge exerce une action vive sur tous les sulfures, même à une température peu élevée. Si on l'emploie en proportion suffisante, le sulfure sur lequel elle agit est décomposé en totalité ; le plus souvent tout le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux, et le métal reste en alliage avec le plomb qui provient de la réduction de la litharge, ou combiné, à l'état d'oxide, avec la portion de litharge qui n'a pas été réduite. La quantité de litharge nécessaire pour opérer la décomposition complète d'un sulfure est considérable ; elle n'est pas la même pour les différens sulfures ; quelques-uns en exigent plus de trente fois leur poids. Quand on en emploie moins qu'il n'en faut, une portion du sulfure seulement est décomposée et réduit une portion correspondante d'oxide de plomb, et le reste du sulfure et de la litharge forment ensemble, et avec l'oxide métallique qui a pu se produire, une combinaison qui appartient à la classe

Proportion nécessaire.

des *oxisulfures*, et qui est ordinairement très fusible. L'oxide de plomb et les sulfures sont si fortement unis dans ces sortes de combinaisons, que la galène, qui est si facilement attaquée par la litharge pure, ne peut pas séparer la plus petite quantité de plomb d'un *oxisulfure*, lorsque celui-ci est saturé de sulfure, et qu'elle s'introduit elle-même dans la combinaison sans éprouver d'altération.

Influence des oxides.

Beaucoup d'oxides, en se combinant avec l'oxide de plomb, diminuent aussi considérablement l'action décomposante qu'elle exerce sur les sulfures. Lorsqu'on chauffe de la litharge avec un sulfure, son action décomposante est limitée par l'affinité chimique de la portion de sulfure qui reste en combianison avec elle, et par l'affinité de l'oxide métallique qui résulte de la portion de sulfure qui a été décomposée. Mais en ajoutant à un *oxisulfure* quelconque une dose convenable de litharge, on peut toujours décomposer en totalité le sulfure qu'il contient.

Sulfures alcalins.

Quand les sulfures sont à base très forte, comme les sulfures alcalins et alcalino-terreux, la litharge n'en dégage pas de gaz sulfureux; mais elle transforme le soufre en acide sulfurique.

Usages. — La litharge est un réactif très précieux dont on se sert presque exclusivement pour faire l'essai des sulfures qui renferment des *métaux fins*, à l'effet de doser ces métaux; on les obtient à l'état d'alliages avec du plomb, dont on les sépare ensuite par la coupellation.

Voici comment se comporte ce réactif avec les sulfures métalliques les plus communs.

Sulfure de molybdène. — Pour scorifier complètement le *sulfure de molybdène*, il faut employer plus de trente fois son poids de litharge : les deux élémens du sulfure s'oxident simultanément, en sorte qu'il ne se sépare jamais de molybdène métallique. Le plomb qui résulte de la réduction de la litharge par ce sulfure est aigre, un peu fibreux, et est imprégné de 0,01 à 0,02 de sulfures de plomb et de molybdène.

Quatre mélanges formés de :

Sulfure de molybd.	5^{g},0. 1^{at}	— 5^{g}. 1^{at}	— 5^{g}. 1^{at}	— 5^{g}, 1^{at}
Litharge.....	27,9. 4	—70.10	—153.22	—306,44.

se sont fondus avec la plus grande facilité, et sont promptement devenus bien liquides, en exhalant une grande quantité de gaz acide sulfureux.

Le premier s'est changé en une matière homogène cristalline à petites lames d'un gris de plomb noirâtre, ressemblant à de la blende brune : ce devait être un composé de sulfures de molybdène, de plomb, d'acide molybdique et d'oxide de plomb.

Le second a donné 16^{g} de plomb aigre et une scorie compacte, vitreuse, opaque, d'un brun-noir.

Le troisième a donné 27^{g},4 de plomb aigre, et une scorie vitreuse, transparente, d'un très beau rouge-hyacinthe.

Enfin avec le quatrième on a 33^{g} de plomb pur, et une scorie semblable à la litharge.

Sulfure de manganèse. — Le *sulfure de manganèse* exige au moins six fois son poids de litharge pour produire une combinaison fusible, et trente fois son poids pour se désulfurer complètement : le soufre et le métal s'oxident simultanément, et il se forme du protoxide de manganèse qui se suroxide en partie et prend une teinte brune par le contact de l'air.

Nous avons essayé quatre mélanges, savoir :

Sulfure de manganèse....	5^{g}	— 5^{g}	— 5^{g}	— 5^{g}
Litharge.....	20	— 30	— 100	— 150

Le premier a produit une matière scoriforme infusible, d'un gris-noir, dans laquelle on voyait des lamelles qui avaient l'aspect de la galène ; il devait être composé de sulfures et d'oxides de manganèse et de plomb. Il s'est exhalé beaucoup d'acide sulfureux pendant l'opération.

Le second s'est fondu en pâte molle et a donné 17^{g},5 de plomb aigre, et une scorie compacte, vitreuse, opaque, et d'un brun très foncé : cette scorie retenait en

combinaison environ la moitié de son poids de sulfure de manganèse.

Le troisième s'est très bien fondu et a donné $31^{g},5$ de plomb ductile, et une scorie vitreuse, transparente, et d'un rouge hyacinthe foncé.

Il est résulté du quatrième mélange $33^{g},7$ de plomb bien ductile, et la désulfuration a été complète.

Sulfure de fer. — Trente parties de litharge suffisent pour scorifier le *protosulfure de fer;* ce métal est oxidé seulement au *minimum.* Protosulfure.

Les quatre mélanges ci-dessus ont donné :

Protosulfure de fer..	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}
Litharge.....	60	125	250	300

Le premier, une masse pâteuse, scoriforme, d'un gris métalloïde et fortement magnétique : elle se composait de sulfure et de protoxides de fer et de plomb;

Le second, une scorie très fluide, d'un noir métalloïde, opaque, à cassure luisante, très magnétique, et 36^{g} de plomb;

Le troisième, une scorie compacte, vitreuse, transparente, d'un beau rouge de résine, et 67^{g} de plomb;

Et le dernier, une scorie semblable à la précédente pour l'aspect, mais qui ne retenait pas de sulfure en combinaison, et 70^{g} de plomb.

Nous avons traité la *pyrite de fer* native par les proportions suivantes de litharge : Pyrite.

Pyrite de fer...	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}
Litharge	60	125	200	300	400	500

Les mélanges se sont très facilement fondus, avec un dégagement d'acide sulfureux extrêmement abondant.

Le premier a produit un culot métallique sans scories, composé de deux parties : l'une, inférieure, la plus considérable, était du sous-sulfure de plomb; l'autre, semblable pour l'aspect à de la galène compacte, mais magnétique, était essentiellement composée de sulfures de fer et de plomb, mais contenait probablement aussi une petite quantité de ces métaux à l'état d'oxide.

Le second et le troisième ont donné des scories vi-

treuses, opaques, noires, tachant les creusets en brun, et du plomb aigre, à cassure grenue, d'un gris foncé, pesant 35^{g} pour le premier, et 40^{g} pour le second. Ces plombs étaient imprégnés d'une petite quantité de scories, et contenaient 0,008 à 0,010 de soufre, et une petite quantité de fer.

Les scories provenant des trois derniers mélanges étaient vitreuses, transparentes, d'un beau rouge de résine, et les culots de plomb ont pesé 45^{g},4, 54^{g},8 et 86^{g}.

Une plus forte proportion de litharge ne produit pas plus de 86^{g} de plomb; d'où il suit qu'avec 50 parties la désulfuration de la pyrite est complète.

Sulfure de cuivre. — Les mélanges suivans de *sulfure de cuivre* et de litharge :

Sulfure de cuivre....	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}	10^{g}
Litharge.....	20	30	50	100	250

se fondent très facilement avec bouillonnement et dégagement abondant de gaz sulfureux. Les scories qui se forment sont compactes, vitreuses, opaques ou translucides, éclatantes, et d'un rouge plus ou moins vif : le cuivre qu'elles contiennent s'y trouve au *minimum* d'oxidation.

Les trois premiers mélanges donnent des culots métalliques qui se composent de plomb et de sulfure de cuivre mêlés et non combinés.

Le quatrième donne 28^{g} de plomb, auquel adhère un peu de sulfure de cuivre.

Et le cinquième donne 38^{g},5 de plomb ductile et pur; quantité qui est précisément égale à celle qui doit se séparer de la litharge par la transformation du sulfure de cuivre en acide sulfureux et en protoxide de cuivre.

Ainsi le sulfure de cuivre ne se combine pas avec la litharge, ce qui est une exception à la règle générale. Pour le décomposer complètement, il faut environ vingt-cinq fois son poids de litharge (9 atomes). Lorsque la litharge est combinée avec une certaine quantité de protoxide de cuivre, elle n'exerce plus aucune action sur le

sulfure de ce métal, bien que chaque oxide isolément ait la propriété de le décomposer.

La désulfuration du *cuivre pyriteux* (sulfure double de fer et de cuivre) exige au moins 30 parties de litharge. Cuivre pyriteux.

On a essayé :

Cuivre pyriteux...	10^g —	10^g —	10^g —	10^g
Litharge.....	50 —	100 —	200 —	300

Dans le premier essai la fusion a eu lieu avec bouillonnement, et la matière est restée pâteuse. On a eu 6^g de plomb ductile, une matte ressemblant à de la galène à petites facettes, mais d'un gris plus foncé, et une scorie vitreuse d'un brun-noir.

Dans le second il y a eu aussi bouillonnement et boursouflement, et l'on a eu 35^g de plomb, 4^g,5 de matte, et une scorie vitreuse d'un brun foncé.

Dans le troisième essai on a eu 49^g de plomb, surmonté d'une légère couche de matte, et une scorie vitreuse très éclatante, d'un brun-rouge foncé, translucide.

Le dernier mélange s'est fondu facilement et presque sans bouillonnement, et il a donné 72^g de plomb, et une scorie compacte, éclatante, et d'un gris clair : il n'y avait qu'une trace de matte. La désulfuration a été complète.

Sulfure d'antimoine. — Le *sulfure d'antimoine* a grande tendance à se combiner avec la litharge, et il faut, pour le désulfurer en totalité, le chauffer avec 25 parties au moins de cet oxide.

En mêlant ces deux substances dans les proportions suivantes :

Sulfure d'antimoine.	10^g. 1^{at} —	10^g —	10^g —	10^g —	10^g
Litharge.....	38. 3 —	60 —	100 —	140 —	250

on obtient avec les trois premiers mélanges des scories très fluides, compactes, d'un noir foncé un peu métalloïde, et des culots de plomb ductile pesant 2^g; 9^g et 26^g. Ces scories ressemblent à l'*abstrich* ou *litharge noire*, qui se produit au commencement de la coupellation, dans la plupart des usines où l'on traite du plomb

qui provient de la galène, et elles sont absolument de même nature.

Le quatrième mélange donne une scorie compacte, transparente, du plus beau rouge-hyacinthe, à cassure vitreuse, éclatante, et 50^{g} de plomb.

Et enfin, avec le dernier, on a environ 57^{g} de plomb, ce qui annonce que la désulfuration est complète : l'antimoine est alors dans la scorie tout entier à l'état de protoxide.

Remarque. M. Fournet a observé que le sulfure d'antimoine a la propriété d'entraîner le sulfure de cuivre, et même le sulfure d'argent, dans les combinaisons qu'il forme avec la litharge. Dans une des expériences qu'il a faites, il a fondu un sulfure double, contenant parties égales de sulfure d'argent et de sulfure d'antimoine, avec trois fois son poids de litharge, et il a obtenu, 1°. un culot de plomb aigre mêlé de veines d'argent; 2°. une matte semblable à de la galène; et 3°. une scorie noire semblable à de l'abstrich. Il a analysé cette scorie, et il a trouvé qu'elle contenait 0,08 à 0,09 de sulfure d'argent.

Il est probable que tous les sulfures qui ont une forte tendance à se combiner avec l'oxide de plomb jouissent, comme le sulfure d'antimoine, de la propriété de déterminer la scorification d'une certaine quantité de sulfure d'argent, ainsi que de tous les sulfures qui à l'état de pureté sont complètement décomposés par la litharge.

Persulfure. *Sulfure d'étain.* — Nous avons soumis l'or *musif* (persulfure d'étain) à l'action de la litharge employée en quatre proportions différentes, comme il suit :

Or musif....	11^{g},37.	1er	—	10^{g}	—	10^{g}	— 10^{g}
Litharge.....	55,78.	4	—	120	—	200	— 300

Le premier mélange s'est fondu en un culot homogène, d'un gris foncé métallique, demi ductile, et qui présentait de nombreux indices de cristallisation. C'était un sulfure double de plomb et d'étain, contenant une certaine quantité de ces métaux à l'état d'oxide.

Le second mélange a produit 36^{g} de plomb, et une scorie vitreuse, opaque, d'un brun foncé;

Le troisième, 54^{g} de plomb, et une scorie vitreuse, transparente, d'un rouge-hyacinthe;

Et le dernier, 60^{g} de plomb, et une scorie semblable à la précédente.

On trouve par le calcul, que la plus grande proportion de plomb qui puisse résulter de ces réactions est de 6,2 pour 1 d'*or musif*, en supposant que l'étain ne s'oxide qu'au *minimum*. Or, ce résultat diffère très peu de celui de l'expérience.

Sulfure de zinc. — Pour scorifier la *blende*, ou sulfure de zinc, il suffit de la fondre avec vingt-cinq fois son poids de litharge.

Nous avons essayé les mélanges suivans :

Blende....	24^{g},08.	1er	—	12^{g},08.	1er	—	10^{g} — 10^{g}
Litharge...	55,78.	2	—	83,68.	3	—	100 — 250

Quoique le premier mélange ait été fortement chauffé, il est toujours resté pâteux; il s'en est séparé 29^{g},2 de plomb très aigre, d'un noir grisâtre, et qui contenait 0,018 de soufre et 0,008 de zinc et de fer. Le culot était recouvert par une matière noire, métalloïde, intermédiaire entre une matte et une scorie, et qui se composait de sulfures et d'oxides de zinc et de plomb.

Le second mélange a donné 35^{g},5 de plomb aigre, et une scorie très fluide, compacte, opaque et noire.

Le troisième a donné 43^{g} de plomb, et une scorie d'un gris foncé.

Et le dernier a produit 65^{g} de plomb pur, et une scorie vitreuse, couleur de résine tirant sur l'olivâtre et translucide sur les bords.

Sulfure de bismuth. — Le *sulfure de bismuth* peut se combiner avec la litharge; mais lorsqu'on emploie une quantité suffisante de celle-ci, il est décomposé de telle manière, que le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux, et que le bismuth forme tout entier un alliage avec le plomb qui provient de la litharge réduite.

Avec les proportions suivantes :

Sulfure de bismuth.	10^{g},9.	1er	—	10^{g},9.	1er	—	10^{g},9. 1er
Litharge.....	27,9.	6	—	55,8.	12	—	111,6. 24

on a pour le premier mélange un alliage blanc d'étain, et une scorie compacte, d'un noir métalloïde à grains cristallins ;

Pour le second mélange, 27^g d'alliage, et une scorie compacte, d'un gris foncé un peu métalloïde, opaque, à grains fins cristallins et brillans ;

Pour le troisième mélange, $35^g,4$ d'alliage, et une scorie semblable à de la litharge, mais d'un jaune un peu olivâtre. On a trouvé dans l'alliage, par l'analyse humide, environ 0,245 de bismuth. Ce résultat prouve que le sulfure a été décomposé presqu'en totalité ; car alors l'alliage ne contiendrait pas plus de 0,255 de bismuth. Néanmoins, si l'on veut être certain qu'il ne reste pas trace de sulfure dans les scories, il convient d'employer 20 à 25 parties de litharge. Au reste, quelque grande que soit la proportion de litharge, on n'obtient jamais plus de 3,3 d'alliage pour 1 de sulfure. Il suit de là que cet alliage renferme tout le bismuth qui était combiné avec le soufre dans le sulfure, et par conséquent que ce métal, qui à l'état de pureté est très facilement attaqué par l'oxide de plomb, est préservé de l'action de cette substance par son alliage avec le plomb.

Sulfure de mercure. — Les mélanges qui suivent, de *cinabre* et de litharge, laissent promptement dégager une grande quantité de mercure métallique et une certaine proportion d'acide sulfureux ; à la chaleur blanche naissante le dégagement de cet acide devient beaucoup plus considérable ; les scories se liquéfient pleinement ; il se produit du plomb très pur, et il ne se volatilise pas la plus petite trace de sulfure de mercure :

Cinabre...	$11^g,7$.	1^{at} —	$11^g,7$.	1^{at} —	$11^g,7$.	1^{at} —	$11^g,7$.	1^{at}
Litharge...	44,6.	4 —	66,9.	6 —	89,4.	8 —	178,8.	16

Le premier mélange donne 10^g de plomb, et une scorie compacte, vitreuse, opaque, d'un gris-noir non métallique, et qui doit contenir :

Oxide de plomb.... .	0,83 —	6^{at}
Cinabre..	0,17 —	1

Le second, 11ᵍ de plomb, et une scorie vitreuse, opaque, d'un brun-noir.

Le troisième, 18ᵍ de plomb, et une scorie vitreuse, transparente, d'un beau rouge-hyacinthe.

Enfin il résulte du quatrième mélange 20ᵍ,6 de plomb, d'où l'on doit conclure que la désulfuration est complète.

Sulfure de plomb. — A la chaleur simplement suffisante pour les fondre, la galène et la litharge peuvent se combiner ensemble et produire un *oxisulfure;* mais pour peu que l'on élève la température, ces deux substances réagissent l'une sur l'autre de manière à se décomposer réciproquement. Si l'on emploie 2 atomes de litharge (2789) pour 1 atome de galène (1496) ou 1865 de litharge pour 1000 de galène, on n'obtient que du plomb pur. Si l'on emploie plus de litharge, il y en a une partie qui ne se décompose pas, et qui recouvre le plomb; si l'on en emploie moins, la galène n'est pas complètement décomposée, et l'on a du plomb pur surmonté d'une *matte* plus ou moins épaisse de sous-sulfure.

Mais lorsque la litharge est combinée avec une certaine proportion de sulfures ou d'oxides métalliques, elle perd toute son action oxigénante sur la galène, même à la chaleur blanche, en sorte qu'elle peut alors se combiner avec cette substance, comme avec les autres sulfures, sans la décomposer, du moins en totalité.

Sulfures de barium et de calcium. — Le *sulfure de barium* et le *sulfure de calcium* sont complètement changés en sulfates sans aucun dégagement de gaz sulfureux, lorsqu'on les chauffe avec 30 fois leur poids de litharge : le mélange devient très fluide, et le plomb qui se sépare est pur; mais quand on traite ces sulfures par 3 ou 4 parties seulement de litharge, il n'y a pas fusion, et il se produit une masse noire scoriforme dans laquelle on voit une multitude de petites grenailles de plomb, et qui sont composées de sulfures et d'oxides de plomb et de barium, et de sulfate debaryte, etc.

Sulfure d'arsenic. — Les *sulfures d'arsenic* forment

avec l'oxide de plomb des combinaisons qui sont toutes extrêmement fusibles, et qui ne peuvent être complètement désulfurées que par un grand excès de litharge : il n'en faut pas moins de 50 à 60 parties.

Orpiment. Nous avons employé l'*orpiment* et la litharge dans les proportions suivantes :

Orpiment.	5g,2. 1er—	5g,2. 1er—	5g,2. 1er—	5g,2. 1er—	5g,2. 1er— 5g,2
Litharge..	27,9. 6 —55,8. 12	—102,3. 22	—130,2. 28	—167,3. 36	—196,0

Nous avons eu avec le premier mélange un oxisulfure compacte, d'un noir un peu métalloïde, opaque, à cassure grenue et cristalline : il ne s'est pas du tout réduit de plomb, et il s'est dégagé une fumée arsenicale abondante ;

Avec le second, un oxisulfure semblable au précédent, et 4g de plomb ;

Avec le troisième, 30g de plomb, et un oxisulfure compacte, vitreux, opaque, très éclatant et du plus beau noir ;

Avec le quatrième, 36g de plomb, et un oxisulfure compacte, vitreux, d'un noir-brun, transparent dans les éclats minces, et paraissant d'un beau rouge-hyacinthe ;

Avec le cinquième, 45g de plomb, et un oxisulfure vitreux, transparent, d'un beau rouge-hyacinthe ;

Avec le dernier, 47g de plomb et une scorie vitreuse, transparente, d'un rouge-hyacinthe pâle, qui contenait encore du sulfure d'arsenic. Avec 60 parties de litharge, la scorie est cristalline et jaune olivâtre comme le protoxide de plomb fondu, et elle ne retient pas de sulfure.

Le plomb qui résulte de toutes ces réactions est ductile, et ne contient pas d'arsenic en combinaison, ce qui prouve que les deux élémens du sulfure enlèvent simultanément l'oxigène à la litharge ; mais son grain est d'un gris très sombre, parce qu'il s'imprègne fortement d'oxisulfure tout comme il s'imprègne de litharge pure.

Abstrichs. M. Fournet a fait voir que les abstrichs qui se produisent dans les usines de Katzenthal (Bas-Rhin), sont, comme les scories ci-dessus, des composés d'oxide de

plomb et de sulfure d'arsenic, et qu'elles ne contiennent pas de sulfure d'antimoine.

ARTICLES V et VI. — *Alcalis caustiques. — Carbonates alcalins.*

Les alcalis caustiques décomposent tous les sulfures; les carbonates alcalins les décomposent tous aussi, mais seulement lorsqu'il y a contact de charbon; en l'absence du charbon il y a quelques sulfures, tel que celui de cuivre, sur lesquels ils n'ont aucune action. Dans ces décompositions il se forme des sulfures à base de métaux alcalins, et ces sulfures retiennent en combinaison une certaine quantité du sulfure soumis à l'expérience. La proportion de sulfure qui reste combinée avec les sulfures alcalins dépend de plusieurs circonstances; elle est d'autant moindre que l'on emploie plus d'alcali ou de carbonate, et que l'on chauffe plus fortement : la présence du charbon a toujours pour effet de la diminuer beaucoup. Lorsque le sulfure a pour radical un métal très volatil (le mercure, le zinc), la décomposition peut même être complète.

La réduction à l'état métallique de la portion d'alcali qui se combine avec le soufre, s'opère soit par l'action d'une portion du soufre du sulfure métallique, quand le métal est peu oxidable, et alors il se forme de l'acide sulfurique qui reste à l'état de sulfate dans la scorie; soit par l'action du métal lui-même, lorsqu'il est très oxidable: l'addition du charbon empêche toujours l'acidification du souffre et l'oxidation du métal; alors c'est le charbon qui réduit l'alcali. Quand le métal du sulfure est très oxidable, la portion qui est séparée du soufre passe en totalité à l'état d'oxide, parce qu'elle reçoit de l'oxigène de l'alcali et de l'acide carbonique; c'est ce qui arrive avec le sulfure de fer, mais lorsque le métal n'est pas capable de décomposer l'acide carbonique; il peut se faire qu'on en obtienne une partie à l'état métallique, lors même que dans l'opération il ne se forme pas d'acide sulfurique; c'est ce qui a lieu avec le sulfure d'antimoine.

La potasse perlasse et la soude naturelle agissent plus

énergiquement sur les sulfures que le carbonate de potasse obtenu avec le nitre et le charbon, et que le carbonate de soude artificiel, parce que dans les carbonates naturels, il y a toujours une certaine proportion d'alcali à l'état d'hydrate; de là vient que la potasse perlasse décompose en partie le sulfure de cuivre sur lequel le carbonate de soude, dit *sel de soude*, n'a aucune action.

Terres alcalines. Les terres alcalines (baryte, strontiane et chaux) mêlées de charbon, se comportent avec les sulfures de la même manière que les alcalis; mais on se sert rarement de ces substances comme *réactifs* désulfurans, parce que les scories qu'elles produisent sont infusibles à la température des fourneaux d'essai.

ARTICLE VII. — *Nitre.*

Le nitre attaque très fortement tous les sulfures; souvent même il pourrait y avoir explosion, ou tout au moins projection d'une partie de la matière hors du creuset, si l'on ne tempérait pas l'action par l'addition d'une substance inerte, comme un carbonate ou un sulfate alcalin. Quand on emploie le nitre en excès tout le soufre est transformé en acide sulfurique, et tous les métaux sont oxidés, à l'exception de l'argent et de l'or. Quand on ne l'emploie qu'en proportion strictement nécessaire pour brûler le soufre, il arrive avec les sulfures des métaux peu oxidables, ceux d'argent, de cuivre et de plomb, que le métal est obtenu à l'état de pureté, et que le soufre se transforme en acide sulfurique; mais avec les sulfures des métaux très oxidables, l'oxigène du nitre se partage entre les deux élémens d'une partie du sulfure, et l'autre partie se sépare, sans altération, ou reste combinée dans la scorie.

ARTICLE VIII. — *Nitrate de plomb.*

Le nitrate de plomb participe des propriétés du nitre et de la litharge; on en fait peu d'usage.

ARTICLE IX. — *Sulfate de plomb.*

On n'emploie pas le sulfate de plomb comme *réactif*, mais il se forme souvent dans les opérations que l'on pra-

tique pour faire l'essai des matières plombeuses. Ce sel décompose le sulfure de plomb, en brûlant le soufre seulement, s'il est employé en proportion convenable, et en oxidant le plomb en même temps, s'il est employé en excès. Il agit sur les autres sulfures d'une manière analogue, et le plus souvent en oxidant à la fois le soufre et le métal.

SECTION IV.

Réactifs sulfurans.

Les *réactifs* sulfurans sont :

1°. Le *soufre*,
2°. Le *cinabre* ou *sulfure de mercure*,
3°. La *galène*,
4°. Le *sulfure d'antimoine*,
5°. Les *pyrites de fer*,
6°. Les *persulfures alcalins*.

ARTICLE PREMIER. — *Soufre.*

Propriétés. — Le soufre est solide, dur, fragile, d'une belle couleur jaune-serin, transparent, très éclatant, doué d'une odeur et d'une saveur particulières, mais faibles; lorsqu'on le presse entre les doigts, il craque et se fendille. M. Mitscherlich a découvert qu'il peut cristalliser sous deux formes incompatibles. 1°. Le soufre natif, et celui que l'on obtient en opérant sa dissolution dans le sulfure de carbone, ont pour forme un octaèdre allongé à base rhomboïdale. 2°. Le soufre obtenu en laissant refroidir une masse fondue, et décantant, lorsqu'elle est à demi solidifiée, cristallise en prismes obliques à bases rhomboïdales qui produisent souvent des hémitropies. La densité du soufre est de 1,98. Caractères.

Le soufre entre en fusion à la température de 108° : jusqu'à 140° il est bien liquide, d'un jaune clair et transparent; à 160° il devient brun et visqueux, puis il s'épaissit de plus en plus et prend une teinte rougeâtre; de 220° à 250° il perd sa fluidité, reste mou et d'un noir rougeâtre; de ce point au degré de l'ébullition il devient un peu plus

fluide, mais sans couler entièrement. Le soufre solide transparent devient peu à peu opaque. Quand on refroidit du soufre subitement en le plongeant dans l'eau, il est cassant et opaque; mais le soufre épaissi, soumis au même traitement, est transparent, et il est d'un rouge passant au brun. Le soufre bout à la chaleur de 316°, et produit une vapeur de couleur jaune et orange : la densité de cette vapeur est de 6,51 à 6,62, selon M. Dumas; en se vaporisant le soufre rend latente une grande quantité de chaleur.

Propriétés chimiques. Le soufre a des affinités très énergiques; il se combine avec tous les gazolites, excepté avec l'azote, et avec la plupart des métaux. Il brûle dans l'air à la température d'environ 294°, avec flamme bleue et production d'acide sulfureux; dans le gaz oxigène sa flamme est violette. Il ne se combine pas directement avec le gaz hydrogène. Il ne décompose pas l'eau, et il ne se dissout pas dans ce liquide. Il est un peu soluble dans les huiles grasses, la cire, l'essence de térébenthine, l'huile de pétrole, le sulfure de carbone, le chlorure de soufre, etc.; et lorsqu'on évapore lentement ses dissolutions il se sépare à l'état cristallin.

Le chlore, l'eau régale et l'acide nitrique, transforment le soufre en acide sulfurique. Il se dissout dans les alcalis fixes caustiques et dans les sulfures alcalins, mais il est insoluble dans l'ammoniaque. Il réduit en totalité ou en partie, à l'aide de la chaleur, un grand nombre d'oxides métalliques, même les terres alcalines, non compris la magnésie. Les nitrates le transforment en acide sulfurique par *voie sèche*. Son atome pèse 201,165. S.

Choix. On trouve dans le commerce du soufre amorphe, du soufre en canon, et du soufre en poudre que l'on nomme fleur de soufre. Le soufre amorphe est mélangé de matières pierreuses; le soufre en canon est ordinairement pur, seulement il retient une petite quantité d'hydrogène que l'on évalue à 0,004, et que l'on ne peut pas lui enlever par la fusion; la fleur de soufre est presque toujours imprégnée d'une certaine quantité d'acide sulfurique qui lui donne la propriété de rougir les couleurs bleues, et que l'on ne

peut en séparer qu'en la lavant à l'eau bouillante. C'est toujours le soufre en fleur que l'on emploie dans les essais par la *voie sèche*. Avant d'en faire usage, il est bon de s'assurer qu'elle n'a point été accidentellement ou frauduleusement mélangée de matières terreuses, en en brûlant un poids déterminé dans une petite capsule de porcelaine.

Usages. — Le soufre sert principalement pour préparer les sulfures alcalins, et dans quelques procédés d'essai des *métaux fins*, parce qu'il ne se combine pas directement avec l'or, et qu'il n'a pas la même tendance à se combiner avec tous les métaux.

ARTICLE II. — *Cinabre* ou *sulfure de mercure.*

Le cinabre est décomposé par beaucoup de métaux, et il est plus propre à les sulfurer que le soufre lui-même, parce qu'il est moins volatil; aussi l'emploie-t-on fréquemment dans les laboratoires pour préparer les sulfures; mais jusqu'à présent on ne s'en est pas servi pour les essais de la *voie sèche*.

ARTICLE III. — *Galène* ou *sulfure de plomb.*

Plusieurs métaux, le fer, le cuivre, etc., enlèvent le soufre à la galène, tandis que d'autres, l'argent, l'or, etc., sont sans action sur cette substance; si donc on chauffe de la galène avec un alliage de différens métaux dont les uns puissent la décomposer et les autres ne le puissent pas, les premiers se transformeront en sulfures, et les derniers se combineront avec le plomb qui aura été désulfuré. La galène est effectivement employée quelquefois à cet usage. C'est un minéral commun et qu'il est facile de se procurer; il faut en choisir des échantillons qui ne contiennent pas de sulfure d'antimoine, ce qu'il est aisé de reconnaître à leur aspect; les piler et en séparer toutes les gangues par un lavage à l'augette fait avec soin.

ARTICLE IV. — *Sulfure d'antimoine.*

Le sulfure d'antimoine pourrait céder son soufre à beaucoup de métaux, mais on ne s'en sert avec avantage que

pour purifier l'or et en séparer l'argent. Dans cette opération le sulfure d'antimoine agit par le soufre sur les métaux alliés, et par l'antimoine sur l'or, pour lequel il a beaucoup d'affinité.

ARTICLE V. — *Pyrite de fer.*

La pyrite de fer native est un persulfure qui perd la moitié du soufre qu'il contient à la chaleur blanche; cette propriété la rend très sulfurante. C'est un agent très employé dans les opérations métallurgiques, pour cet effet: mais on s'en sert rarement dans les essais.

ARTICLE VI. — *Sulfures alcalins.*

Le potassium et le sodium forment avec le soufre au moins sept combinaisons différentes, dans lesquelles il y a 1, 2, 3, 3 $\frac{1}{2}$, 4, 4 $\frac{1}{2}$ et 5 atomes de souffre pour 1 atome de métal; celles qui contiennent plus de 1 atome de soufre sont souvent désignées sous le nom de *sulfures sulfurés*, quand elles sont à l'état solide, et de *sulfures hydrogénés*, quand elles sont en dissolution dans l'eau; nous les qualifierons de *sulfides* et de *persulfures*.

Caractères. *Sulfures de potassium.* — Les *sulfures de potassium* ont une couleur de foie plus ou moins foncée; leur saveur est très âcre et hépatique; ils sont alcalins, mais ils agissent moins fortement sur la peau que la potasse. Ils sont très fusibles, et lorsqu'on les expose à une température élevée, il se volatilisent partiellement en perdant d'abord une certaine proportion de soufre lorsqu'ils en contiennent beaucoup. Ils sont d'autant plus combustibles

Grillage. qu'ils renferment plus de soufre : le grillage les transforme en sulfate neutre, et quand ils contiennent plus de 1 atome de soufre, il se dégage en même temps de l'acide sulfureux. Les sulfures très sulfurés sont ramenés à un moindre degré de sulfuration par le charbon, à une température suffisamment élevée, avec dégagement de sulfure de carbone.

Solubilité. Les *sulfures alcalins* sont tous solubles dans l'eau et dans l'alcool, et même déliquescens; leurs dissolutions

ont une couleur jaune-brun d'autant plus foncée qu'ils sont plus sulfurés. Ces dissolutions s'altèrent rapidement au contact de l'air : il y a absorption d'oxigène ; il se forme de l'hyposulfite neutre, et la liqueur se fonce de plus en plus jusqu'à ce que la partie de sulfure non altérée soit arrivée à son *maximum* de sulfuration ; alors l'hyposulfite continuant à se former, il se dépose du soufre, et la liqueur finit par se décolorer et par ne plus contenir que de l'hyposulfite : une plus longue exposition à l'air transforme celui-ci d'abord en sulfite, et enfin en sulfate. Les acides non oxidans, même les plus faibles, dissolvent les sulfures alcalins avec dégagement de gaz hydrogène sulfuré, et en laissant déposer du soufre lorsqu'ils renferment plus de 1 atome de ce combustible. Les sulfures très sulfurés agissent par *voie sèche* comme des sulfurans très énergiques sur les métaux, ainsi que sur leurs oxides, même les plus difficiles à réduire. A l'état de dissolution il sont ramenés au *minimum* de sulfuration par plusieurs métaux, tels que le cuivre, le mercure et l'argent.

Sels. Les sulfures de potassium dissous dans l'eau précipitent tous les métaux de leurs dissolutions, la plupart à l'état de sulfures purs ou mélangés de soufre ; mais quelques métaux, tels que le titane, le cérium, etc., ainsi que les terres, sont précipités à l'état d'hydrate d'oxides : dans ce cas il y a toujours dégagement d'hydrogène sulfuré.

Sulfures. Employés en excès, les sulfures alcalins dissolvent les sulfures de tellure, d'arsenic, de sélénium, et les sulfures de la plupart des métaux électro-négatifs, savoir : les sulfures de molybdène, de tungstène, d'antimoine, d'étain, d'or, etc. ; et ils ne dissolvent pas les sulfures des métaux électro-positifs, tels que ceux de manganèse, de fer, de zinc, de cuivre, de plomb, d'argent, etc.

Sels alcalins. Les sulfures alcalins peuvent exister dans une même dissolution avec les hyposulfites, les sulfites et les sulfates ; ils peuvent aussi être fondus avec les sulfates alcalins sans qu'il y ait décomposition réciproque. Avec les carbonates alcalins, lorsque les sulfures contiennent beaucoup de soufre et qu'on les expose à une température qui dépasse un cer-

tain terme, il se produit un sulfure inférieur, et il y a dégagement d'acide carbonique. Les sulfures alcalins se dissolvent aussi en assez grande quantité dans les verres siliceux, par *voie sèche*, et ils leur communiquent leur couleur sans troubler leur transparence.

Préparation. On prépare les sulfures de potassium, chacun par des procédés différens. Quand on fait bouillir du soufre dans une dissolution de potasse caustique, le sulfure est mélangé d'hyposulfite qui se produit aux dépens de l'oxigène de la potasse; quand on chauffe jusqu'à la fusion de la potasse caustique ou du carbonate de potasse avec du soufre, il ne se dégage que de l'eau ou de l'acide carbonique, et la matière fondue se trouve mélangée de sulfate de potasse qui résulte de la réaction de la potasse sur le soufre. La quantité de potassium que contient l'hyposulfite ou le sulfate, est précisément égale au tiers de celle qui se combine avec le soufre.

Différens sulfures. Le sulfure KS, ou *protosulfure*, est d'un rouge de cinabre pâle; il se fond au-dessous de la chaleur rouge et paraît noir et opaque tant qu'il est chaud. Il se change en sulfate sans dégagement d'acide sulfureux par le grillage, mais il est peu combustible; il peut dissoudre beaucoup de soufre. Il a la propriété de pouvoir se combiner par *voie sèche* et par *voie humide* avec l'hydrogène sulfuré; il constitue alors ce qu'on appelle le *sulfure hydrogéné* ou *hydrosulfate*. C'est un réactif très employé dans les opérations de la *voie humide*. Dans ce composé l'hydrogène sulfuré contient autant de soufre que le potassium.

Le sulfure KS est composé de :

Potassium.....	0,7089	—	100	KS
Soufre.....	0,2911	—	41,06	

Pyrophore. Entre autres procédés que l'on peut employer pour le préparer, on l'obtient en réduisant le sulfate de potasse par le charbon; mais il faut remarquer que si le charbon se trouve en certain excès, le mélange devient très pyrophorique et s'embrase au contact de l'eau ou de l'air humide. Ce mélange est ce qu'on appelle le *pyrophore alcalin*.

Le *bisulfure* KS^3 a une teinte orange et n'est pas cristallin; il se forme par *voie sèche* en chauffant jusqu'à la chaleur blanche du carbonate de potasse avec un excès de fleurs de soufre : 100 de carbonate absorbent 43,78 de ce combustible, le sulfure contient :

Potassium.....	0,549	—	100	KS^2
Soufre.....	0,451	—	82,12	

Le *trisulfure* KS^3 a une couleur hépatique et peut être fondu avec du carbonate de potasse à la chaleur rouge sans s'altérer, mais à la chaleur blanche il se forme du sulfure KS^2, avec dégagement d'acide carbonique; on l'obtient en chauffant au rouge naissant 105 parties de carbonate de potasse avec 58,2 parties de souffre.

Le *quadrisulfure* KS^4, ressemble au précédent, il se forme lorsque l'on chauffe au rouge du sulfate de potasse dans un courant de vapeur de sulfure de carbone.

Le *persulfure* KS^5 a une couleur hépatique foncée; il est extrêmement combustible; il est composé de :

Potassium.....	0,3275	—	100	KS^5
Soufre.....	0,6725	—	205,30	

Son atome pèse 1495,74.

On l'obtient en chauffant jusqu'à fusion 100 parties de carbonate de potasse avec au moins 94 parties de soufre.

Le *sulfure* K^2S^7 est d'un rouge de vin et transparent; il se forme lorsque l'on fait passer de l'hydrogène sulfuré sur du sulfate de potasse à la chaleur rouge.

Le *sulfure* K^2S^9 se produit quand on fait passer un courant de gaz hydrogène sulfuré ou de tout autre gaz non oxidant sur un mélange de sulfure KS^4 et de soufre chauffé à une chaleur modérée.

Sulfures de sodium. — Les combinaisons du sodium avec le soufre sont analogues à celles du potassium. Ils contiennent :

Le *sulfure* NS,

Sodium.....	0,591	—	100
Soufre.....	0,409	—	69,14

Le *bisulfure* NS^2,

Sodium.....	0,556	—	100
Soufre.....	0,444	—	138,28

Le *persulfure* NS^5,

Sodium.....	0,224	—	100
Soufre..... ...	0,776	—	345,70

Son atome pèse 1296.72.

Action sulfurante des persulfures alcalins. — Les persulfures alcalins peuvent supporter une chaleur assez élevée sans passer au *minimum* de sulfuration, mais ils ont une grande tendance à revenir à cet état, et de là vient leur grande action sulfurante : sous ce rapport ce sont les agens les plus puissans que l'on connaisse. Par leur moyen on peut sulfurer tous les métaux sans exception; on peut même à l'aide des persulfures alcalins, changer en sulfures les oxides les plus difficiles à réduire, tels que les oxides de chrôme, de titane et de cérium; mais dans ce cas il est nécessaire de chauffer à une température très élevée, et d'opérer dans des creusets brasqués de charbon. A une température moyenne certains oxides sont réduits en sulfures, et d'autres ne le sont pas, et l'on a ainsi un moyen de les séparer les uns des autres.

Influence du charbon.

Lorsqu'on chauffe à une chaleur suffisante un persulfure alcalin avec un métal, ou avec un oxide en présence du charbon, on obtient un composé fondu ou un mélange de métal sulfuré et de sulfure alcalin; une autre partie de ce dernier sulfure se volatilise ou s'infiltre dans la brasque. Quand il y a combinaison, elle est ordinairement très faible et complètement détruite par l'eau, qui dissout le sulfure alcalin, et laisse l'autre sulfure parfaitement pur; cependant avec quelques métaux électro-négatifs, l'or, le molybdène, le tungstène, l'antimoine, etc., la combinaison est stable et soluble dans l'eau; c'est à cause de cela qu'on emploie quelquefois l'action des sulfures alcalins pour faire l'essai des minerais aurifères.

Équivalens.

Pour opérer une sulfuration par le moyen des persulfures alcalins, au lieu de préparer ces persulfures à l'avance, il est beaucoup plus commode de se servir de mé-

langes équivalens de soufre et de carbonates alcalins. Pour le persulfure de potassium KS^5, il faut employer 0,46 de carbonate de potasse fondu, et 0,54 de fleur de soufre. Pour le persulfure de sodium NS^5, il faut employer 0,40 de carbonate de soude fondu, et 0,60 de fleur de soufre.

Quand on fait fondre le mélange dans un creuset nu, il se forme du sulfate de potasse ou du sulfate de soude, parce que la partie d'alcali qui est amenée à l'état métallique par son affinité pour le soufre, cède son oxigène à une portion de soufre qui passe à l'état d'acide sulfurique; mais quand on se sert de creusets brasqués, c'est le charbon qui prend l'oxigène de l'alcali, et il ne se produit pas du tout de sulfate.

SECTION V.

Réactifs fondans ou *flux*.

Objet des flux. — Les *réactifs* fondans ou flux sont en général destinés à déterminer la fusion, ainsi que leur nom l'indique; on les emploie pour l'un des objets suivans :

1°. Pour déterminer la fusion d'une substance infusible ou difficilement fusible; — Fusion.

2°. Pour amener une substance infusible ou difficilement fusible à un état particulier de vitrification, la changer en verre, en émail, en porcelaine, etc.; — Vitrification.

3°. Pour faire fondre les matières étrangères mêlées à un métal, afin de pouvoir en séparer ce métal par différence de pesanteur spécifique; — Séparation d'un métal.

4°. Pour détruire une combinaison dans laquelle un oxide se trouverait engagé, et qui empêcherait cet oxide d'être réduit par le charbon : le silicate de zinc, par exemple, ne peut donner de zinc métallique avec le charbon, que lorsqu'on le mêle avec un flux qui soit susceptible de se combiner avec la silice; — Destruction d'une combinaison.

5°. Pour empêcher certains alliages de se former, et pour séparer, par suite, certains métaux d'autres métaux : quand on fait un mélange d'oxide de fer et d'oxide de manganèse avec un flux convenable, on obtient tout le — Exclusion d'un alliage.

fer à l'état de pureté, tandis que si l'on n'ajoutait pas de flux on n'aurait qu'un alliage des deux métaux : l'or et l'argent peuvent être séparés d'un grand nombre d'autres métaux par le moyen des flux;

Scorification. 6°. Pour scorifier quelques-uns des métaux contenus dans une substance à essayer, et obtenir les autres en alliage avec un métal contenu dans le flux : l'or et l'argent avec le plomb, par exemple.

Réunion en culot. 7°. Enfin quelquefois on emploie un flux simplement pour obtenir en un seul culot un métal qui sans cela resterait disséminé en grenailles.

Classification. — On peut distinguer les flux en flux non métalliques et flux métalliques.

Les flux non métalliques sont :

1°. La *silice*,
2°. La *chaux*,
3°. La *magnésie*,
4°. L'*alumine*,
5°. Les *silicates de chaux* et *d'alumine*,
6°. Le *verre*,
7°. L'*acide borique*,
8°. Le *borax*,
9°. Le *fluorum de calcium* ou *spath fluor*,
10°. Le *carbonate de potasse*,
11°. Le *carbonate de soude*,
12°. Le *nitre*,
13°. Le *sel marin*,
14°. Le *flux noir* et ses équivalens,
15°. La *crème de tartre*,
16°. Le *sel d'oseille* (*oxalate acide de potasse*),
17°. Le *savon*,
18°. Et divers *flux* complexes.

Les flux métalliques sont :

19°. La *litharge* et la *céruse*,
20°. Le *verre de plomb* (*silicates de plomb*),
21°. Le *sulfate de plomb*,
22°. Le *deutoxide de cuivre*,

23°. L'*oxide de fer*,

24°. Et quelques *mélanges complexes*.

Les flux 14, 15, 16 et 17, sont à la fois fondans et réductifs; les autres flux non métalliques sont simplement fondans, et ne peuvent pas opérer les réductions.

ARTICLE PREMIER. *Silice*.

§ 1er. — Caractères et propriétés.

Usage. — On emploie fréquemment la silice pour déterminer la fusion des gangues dans les essais qui se font à une chaleur élevée, et quelquefois aussi, mais plus rarement dans les essais qui n'exigent pas une température de plus de 50 à 60° p. La silice se combine avec toutes les bases, et forme avec elles des composés que l'on nomme *silicates*, et qui sont les uns plus ou moins fusibles et les autres infusibles. Pour bien comprendre l'usage que l'on fait de cette substance, il est nécessaire de connaître le degré de fusibilité des principaux silicates. L'étude de ces composés étant d'ailleurs d'une grande importance pour la métallurgie, nous entrerons dans de grands détails à ce sujet après que nous aurons fait connaître les propriétés fondamentales de la silice, et les moyens de la préparer pour les usages de la docimasie.

Caractères. — La silice séparée d'une combinaison par *voie humide*, forme une gelée transparente et incolore; cette gelée exposée à l'air sec ou calcinée, perd toute son eau et se change en une poudre blanche aussi ténue et aussi légère que de la farine.

La silice est très abondante dans la nature. Les minéralogistes la désignent sous les noms de *quarz* ou *cristal de roche;* on la trouve cristallisée en prismes hexaèdres réguliers terminés par des pyramides à six faces, incolores et transparens. La densité du quarz est de 2,653.

Infusibilité. La silice est absolument infusible à la plus haute température de nos fourneaux; mais lorsqu'on soumet au dard du chalumeau l'extrémité aiguë d'une esquille de

quarz, la pointe s'arrondit, ce qui prouve qu'il y a fusion.

Propriétés chimiques. — Elle est inattaquable par les gazolites quand elle est pure; mais toutes les fois qu'on la soumet à une haute température, au contact du charbon et de certains métaux, le fer par exemple, il s'en réduit une certaine quantité. En présence du charbon elle est changée en chlorure par le chlore gazeux, et elle se combine au fluor quand on la chauffe avec un fluorure et de l'acide sulfurique concentré. Le potassium et le sodium la réduisent à l'aide d'une faible chaleur.

Acides. La silice native, calcinée ou même fortement desséchée, est tout-à-fait insoluble dans l'eau, mais à l'état naissant elle s'y dissout souvent en grande quantité. La silice desséchée ou même réduite en gelée est à peu près insoluble dans les acides, excepté dans l'acide fluorique, qui l'attaque dans quelque état qu'elle soit, et la sépare même de ses combinaisons les plus intimes. La silice à l'état naissant se dissout au contraire dans presque tous les acides, lorsqu'ils sont suffisamment étendus d'eau, même dans l'acide carbonique: l'acide muriatique est celui qui la dissout le mieux et le plus abondamment. Selon M. Karsten, lorsque l'on décompose un silicate par un acide, pour que la silice reste en dissolution, il suffit que la liqueur n'en renferme pas plus d'un trentième de son poids. La silice dissoute dans un acide se sépare à l'état gélatineux lorsqu'on rapproche la liqueur jusqu'à un certain point, et alors elle ne se redissout plus, si ce n'est en très petite quantité; on en retrouve toujours des traces dans la dissolution. La silice, dans quelque état qu'elle soit, se fond en verre incolore et transparent avec l'acide borique et l'acide phosphorique.

Bases. Quoique la silice soit un acide très faible, on peut la combiner avec la plupart des bases, soit par *voie humide*, soit par *voie sèche*. Elle ne forme de combinaisons solubles dans l'eau qu'avec la potasse et la soude, et elle ne se combine pas avec l'ammoniaque. A l'état de quarz ou de silex, elle est inattaquable par les dissolutions de potasse et de soude caustiques; mais la silice séparée chimi-

quement d'une combinaison, même lorsqu'elle a été calcinée, se dissout très facilement dans ces liqueurs, surtout à chaud. Selon M. Pfaff, elle se dissout aussi dans les carbonates alcalins bouillans sans qu'il se dégage d'acide carbonique; si la liqueur est concentrée elle se prend en gelée par le refroidissement, mais elle ne se trouble pas quand elle est suffisamment étendue. A la faveur d'une forte chaleur la silice acquiert assez de force pour décomposer un grand nombre de sels; ainsi elle se fond avec effervescence dans les carbonates alcalins, en chassant l'acide carbonique; cependant elle ne déplace ni l'acide borique ni l'acide phosphorique, et ces deux acides décomposent au contraire tous les silicates. La silice peut aussi se combiner, par *voie sèche*, avec différens sels, en donnant naissance à des sels doubles; ainsi elle forme avec le borax un verre transparent qui ne devient pas opaque au flamber, etc., mais elle ne se dissout qu'en très petite quantité dans le sel de phosphore.

La silice est composée de

Composition.

Silicium.....	0,4804	—	100	$\dot{S}i$
Oxigène.....	0,5196	—	108,16	

Son atome pèse 577, 478.

Préparation. — Pour l'usage de la *voie sèche* on prépare la silice avec du quarz en morceaux cristallins ou avec du sable quarzeux. Quand on se sert de quarz, on le fait chauffer brusquement et on le jette dans l'eau pendant qu'il est encore rouge; il devient alors très friable, et l'on peut le réduire en poudre fine sous le pilon avec la plus grande facilité. Après qu'on l'a tamisé on le fait bouillir avec de l'acide muriatique, afin d'en séparer les parcelles de fer que le frottement détache toujours du mortier; on le lave et on le calcine. Quand on emploie du sable, il faut d'abord le laver dans un grand volume d'eau et jusqu'à ce que ce liquide ne se trouble plus, pour enlever la matière argileuse dont il est souvent mélangé; puis on doit le faire bouillir avec de l'acide muriatique qui dissout le carbonate de chaux et l'oxide de fer dont il est presque toujours souillé; enfin on le lave et on le calcine.

On peut employer le sable sans le broyer, quand il

doit se former une combinaison très fusible, mais dans le cas contraire il est indispensable de le réduire en poudre fine, après l'avoir *étonné* par le feu.

Dans les manufactures de porcelaine et dans les manufactures de faïence dite *terre de pipe*, on prépare, pour mêler dans les pâtes, de la silice en farine qui est très propre à servir aux essais : on obtient cette farine en passant sous des meules du sable blanc ou du silex étonné par le feu.

Expériences. *Fusibilité des silicates.* — Il est peu de docimasistes qui n'aient fait quelques essais sur la fusibilité des silicates : les plus intéressans sont dus à Achard, à M. Lampadius, (*Journal des Mines*, T. XVIII, page 131), et à Collet Descostil (*Journal des Mines*). Nous en avons fait nous-mêmes un grand nombre dans le cours de ces dix dernières années. Nous allons faire connaître les résultats principaux de toutes ces recherches ; nous nous occuperons d'abord des silicates alcalins et terreux simples, puis des composés doubles auxquels ces silicates simples peuvent donner naissance, et nous traiterons, en terminant, des silicates métalliques simples et multiples.

Manière d'opérer. Toutes les fois que nous avons opéré sur des oxides irréductibles, nous avons fait nos essais dans des creusets brasqués de charbon ; par ce moyen nous avons évité l'influence de la matière du creuset, nous avons conservé aux silicates toute leur pureté, et nous avons pu, en pesant les culots, reconnaître s'il y avait eu volatilisation de quelque substance. Nous avons chauffé tantôt dans un fourneau à vent donnant environ 150° p. de chaleur en deux heures de temps : nous désignerons ce fourneau par ce signe (g. f.) ; tantôt dans les fours de la manufacture de porcelaine de Sèvres, dont M. Brongniart, ingénieur en chef, directeur de cette manufacture, a bien voulu nous permettre l'usage : nous désignerons ces fours par le signe (S.). On peut évaluer leur température à 140° : le pyromètre marque bien quelquefois jusqu'à 150° ; mais il est constaté maintenant que le long espace de temps pendant lequel les cylindres d'argile du pyromètre restent dans

Température.

le feu, contribue à leur retrait autant que pourrait le faire une température plus élevée soutenue pendant un temps plus court, et l'ensemble des faits nous a prouvé d'ailleurs que la chaleur n'est jamais aussi forte dans les fours à porcelaine que dans notre fourneau à vent.

Refroidissement.

Quand nous avons opéré dans le fourneau à vent, les essais ont été retirés au bout de deux heures et exposés immédiatement au contact de l'air atmosphérique; ils étaient complètement refroidis au bout d'une heure; mais quand nous placions nos creusets dans les fours de Sèvres, ils restaient, comme la porcelaine, pendant cinq à six jours dans le four après l'extinction du feu, et ils n'éprouvaient par conséquent qu'un refroidissement très lent. Cette circonstance était propre à favoriser l'aggrégation régulière des matières fondues, et nous en avons profité avec succès (*) pour essayer de produire artificiellement, sous des formes cristallines, des composés identiques avec quelques-uns de ceux que l'on trouve dans la nature. C'est dans ce but que nous avons presque toujours employé les élémens que nous voulions combiner entre eux dans des rapports pondérables atomiques.

Quand nous avons voulu chauffer à une température médiocre, nous nous sommes servi d'un fourneau de calcination surmonté d'un tuyau de tôle de 1 mètre de hauteur, et dans lequel la chaleur s'élevait à 50 ou 60° p. nous désignerons ce fourneau par le signe (p. f.).

§ 2. — Silicates alcalins et terreux simples.

Lorsqu'on chauffe de la silice avec du carbonate de potasse ou du carbonate de soude dans des creusets brasqués, une partie de la matière alcaline s'infiltre dans la brasque avant que la combinaison ait pu avoir lieu; d'un autre côté, une autre portion très notable de l'alcali se volatilise lorsque la température a atteint un certain degré

(*) M. Mitscherlich a mentionné dans les *Annales de Chimie*, T. XXIV, page 355, quelques-uns des résultats dont je lui ai fait part.

d'élévation; en sorte qu'en pesant les culots, on trouve toujours un déficit considérable. Ces circonstances s'opposent à ce qu'on puisse obtenir des silicates alcalins dans lesquels la silice et l'alcali se trouvent en proportions rigoureusement atomiques; mais on peut toujours connaître exactement la composition du silicate préparé, en calculant la proportion de l'alcali d'après le poids du culot et de la silice employée.

Potasse. — Les silicates de potasse et de soude sont très fusibles. A la température de 50° p. il ne faut que trois parties de carbonate de potasse ou de soude pour former avec la silice une combinaison très fluide : à la chaleur de 150° p. une très petite quantité d'alcali suffit pour produire cet effet. Les silicates KS^3, KS^6, KS^9 et KS^{12} (*) se fondent en verres transparens plus ou moins bulleux. Le silicate KS^{18}, contenant :

Silice.....	0,857
Potasse.....	0,143

se fond en un verre incolore transparent, mais extrêmement bulleux.

Le silicate KS^{30}, contenant :

Silice.....	0,910
Potasse.....	0,090

donne encore un verre transparent, mais excessivement boursouflé, scoriforme, et qui conserve le même volume que la silice employée, ce qui prouve qu'il n'y a que ramollissement.

Soude. — Les silicates de soude NS^3, NS^6, NS^9 et NS^{12} se fondent en verres transparens, compactes ou plus ou moins bulleux.

Les silicates NS^{18} et NS^{24}, contenant :

Silice.....	0,901	—	0,924
Soude.....	0,099	—	0,076

(*) Les exposans des lettres indiquent les rapports des quantités d'oxigène contenues dans les oxides auxquels ils se rapportent. Quand cet exposant devrait être l'unité, on le supprime : ainsi, l'expression KS^{12} indique un silicate de potasse dans lequel la silice contient 12 fois autant d'oxigène que l'alcali.

se fondent en verres transparens excessivement bulleux. Dans l'expérience que l'on a faite, ces verres étaient d'un beau rouge de groseille. Nous supposons que cette couleur provenait d'une petite quantité de sulfate que contenait le carbonate de soude, et qui se sera changé en sulfure par le contact du charbon.

Le silicate NS^{30}, contenant :

Silice.....	0,938
Soude.....	0,062

donne un émail blanc, légèrement translucide et scoriforme, qui occupe le même volume que le mélange employé : il n'y a donc que ramollissement.

Il paraît qu'à poids égal la soude est plus fondante que la potasse.

Les silicates alcalins ne prennent jamais l'aspect pierreux, et donnent toujours des verres sans aucun indice de cristallisation ni de structure lamelleuse, soit qu'on les fasse refroidir rapidement, soit qu'on les abandonne à un refroidissement lent, comme cela a lieu dans un four à porcelaine. Remarque.

Baryte. — Nous avons préparé les silicates de baryte suivans avec du sable quarzeux et du carbonate de baryte natif : plusieurs se sont fondus :

	BS	BS^2	BS^3	BS^6	BS^9	BS^{12}
Silice....	0,172	0,293	0,384	0,555	0,652	0,715
Baryte...	0,823	0,707	0,616	0,445	0,348	0,285

BS (g. f. et S.) a donné un culot composé d'une multitude de petits grains arrondis et agglomérés au contact. Ces grains étaient d'un blanc-gris ou rosacé et luisans : ils n'ont dû éprouver qu'une fusion pâteuse.

BS^2 (S.) a donné un culot compacte, un peu bulleux à la surface, à cassure écailleuse et cireuse.

BS^3 (S.) a donné un culot sans bulles, d'un blanc un peu jaunâtre, fragile, lamelleux en divers sens, se cassant en fragmens cristallins, translucides et assez éclatans.

BS^6 et BS^9 (S.) se sont fondus en masses compactes, d'un blanc grisâtre, translucides, à cassure conchoïde un peu cireuse, comme celle du pétrosilex.

BS^{12} (g. f.) a donné un émail poreux, dur, blanc, opaque, ou légèrement translucide, luisant dans les cavités : il y a eu ramollissement sans fusion complète.

Il n'y a donc de bien fusible que les silicates de baryte qui contiennent moins de baryte que BS^3, et moins de silice que BS^{12}.

Strontiane. — Nous avons essayé les deux silicates de strontiane

	StS^4		StS^9
Silice.....	0,551	—	0,734
Strontiane.....	0,449	—	0,265

Nous les avons préparés avec du sable et du carbonate de strontiane artificiel.

StS^4 (g. f.) s'est fondu en émail blanc, compacte, sans bulles, transparent dans quelques parties, mais dans presque toute la masse à peine translucide sur les bords, à cassure légèrement conchoïde, luisante.

StS^9 (g. f.) a donné un culot scoriforme, criblé de cavités comme une éponge, blanc, un peu translucide et légèrement émaillé. Il avait conservé le volume de la matière employée : il n'y avait donc pas eu fusion.

Il suit de ces essais que la strontiane est beaucoup moins fondante que la baryte.

Chaux. — Lorsqu'on chauffe très fortement du carbonate de chaux (craie ou marbre) avec de la silice réduite en poudre impalpable, il y a toujours combinaison, et lorsque la chaux domine, le silicate se dissout en totalité dans les acides; mais il n'y a fusion que quand la silice et la chaux sont employées dans des proportions qui ne peuvent varier qu'entre des limites peu distantes. Dans le cas le plus favorable, on n'obtient une fusion complète qu'à l'aide de la plus haute température du fourneau à vent.

Les silicates

	C^4S		C^2S		C^4S^3		CS
Silice.....	0,115	—	0,220	—	0,297	—	0,358
Chaux.....	0,885	—	0,780	—	0,703	—	0,642

ne peuvent ni se fondre ni se ramollir. Les trois pre-

miers restent pulvérulens; l'eau en sépare beaucoup de chaux. Le quatrième CS (g. f.) éprouve un commencement de fusion, et produit une masse en partie scoriforme et en partie pulvérulente.

Les silicates

	CS^6		CS^3		CS^4
Silice.....	0,528	—	0,622	—	0,756
Chaux.....	0,472	—	0,378	—	0,244

se fondent ou se ramollissent.

CS^2 se trouve dans la nature et porte le nom de *Tafeldspath*. Chauffé au four à porcelaine, il donne un culot un peu boursouflé, d'un aspect pierreux, à cassure grenue, à grains lamelleux et translucides; on remarque dans les cavités des cristaux éclatans et nets, mais très petits. Au grand fourneau à vent, il se fond en une masse scoriforme demi vitreuse et translucide, quand on donne une heure de vent, comme pour les essais de fer; et en culot partie compacte, partie bulleux, incolore, translucide, à cassure cireuse un peu luisante, lorsqu'on chauffe pendant une heure de plus. Tafeldspath.

CS^3 (S.) donne un culot scoriforme d'un très beau blanc, translucide, qui ressemble à de la porcelaine; sa cassure est inégale, grenue et à grains fins : il est assez dur pour rayer le verre.

CS^4 donne un culot scoriforme, blanc, translucide, sans solidité, et qui s'égrène entre les doigts (S.), et un verre transparent poreux. (g. f.)

Magnésie. — Nous avons essayé les silicates de magnésie

	M^3S		MS		MS^3		MS^6
Silice.....	0,278	—	0,435	—	0,599	—	0,700
Magnésie...	0,722	—	0,565	—	0,401	—	0,300

M^3S et MS (S.) ont donné des culots compactes, mais peu tenaces, faciles à égrener, quoique assez durs pour rayer le verre, à cassure inégale, grenue et matte, d'un tissu lâche et très légers : il n'y avait point eu ramollissement, mais combinaison, car les culots faisaient gelée avec les acides concentrés.

MS^3 (g. f.) a donné un culot fortement aggloméré,

pierreux et très dur, mamelonné et luisant à la surface, un peu poreux, à cassure grenue presque lisse, d'un beau blanc, et opaque : il y a eu ramollissement sans fusion.

MS^3 (S.) a donné un culot solide, tenace, assez dur pour rayer le verre, à cassure compacte, pierreuse et matte : il était d'un gris clair et rempli de pores arrondis, ce qui prouve qu'il y a eu commencement de fusion.

Alumine. — La silice à l'état de quarz et l'alumine calcinée n'étant douées que de forces chimiques très faibles, ne se combinent que difficilement ensemble, même à une température très élevée ; il n'est donc pas certain que l'on puisse préparer des silicates d'alumine bien homogènes par la voie des mélanges. Cependant les expériences qui ont été faites synthétiquement, et les phénomènes que l'on observe dans les ateliers où l'on emploie les argiles, suffisent pour prouver qu'aucun silicate d'alumine n'est complètement fusible à la plus haute température de nos fourneaux, mais qu'il y en a un certain nombre qui se ramollissent, et que tous s'agglomèrent plus ou moins fortement.

Les silicates

	A^3S		AS		AS^2		AS^3
Silice.....	0,357	—	0,474	—	0,643	—	0,730
Alumine...	0,643	—	0,526	—	0,357	—	0,270

préparés avec du sable et de l'alumine provenant du sulfate simple calciné, ont donné :

Les deux premiers (S.) une masse agglomérée, mais s'égrenant sous le marteau ;

Le troisième (S.) un culot compacte, fortement aggloméré, à cassure matte et pierreuse ;

Le quatrième (g. f.) un culot compacte, à cassure pierreuse un peu luisante.

Les briques réfractaires, les creusets à essais, les pots de verrerie, etc., se préparent avec des argiles dont la composition varie entre AS^2 et AS^3 : or on sait que ces briques, creusets, etc., ne se fondent pas, mais que quand on les soumet à une chaleur très forte, ils acquièrent

une grande cohésion, une dureté excessive, et qu'ils présentent une cassure unie ou à grains très fins, un peu luisante, qui annonce un commencement de vitrification. Quand on fait des essais de métaux difficiles à fondre, on a souvent occasion d'observer que les creusets les plus réfractaires se déforment sans se casser, ou s'affaissent sur eux-mêmes ; enfin tout le monde peut voir que les pots de verrerie, quoique fort épais, plient sous la pression des pinces, et se gauchissent toujours au bout d'un certain temps. Les silicates d'alumine AS^3 et AS^2 paraissent être les plus ramollissables de tous ; on diminue leur fusibilité en y ajoutant soit de la silice, soit de l'alumine. On a quelquefois recours à l'addition de la silice dans les arts ; mais on ne peut en user qu'avec réserve, parce qu'il en résulte que la pâte crue perd de sa ductilité, et que la matière cuite devient poreuse et beaucoup moins tenace.

Glucine, zircône. — On sait que les silicates simples de glucine et de zircône sont infusibles.

Conséquences. — Il ressort évidemment de ces expériences, que parmi les alcalis, les terres alcalines et les terres, la propriété fondante à l'égard de la silice croît et décroît comme la force chimique de la base. Il est à remarquer que la solubilité dans l'eau suit le même ordre, et il en est probablement de même de la fusibilité propre de chaque base.

Nous verrons par ce qui va suivre, que parmi les silicates métalliques simples la fusibilité est aussi d'autant plus grande, que l'oxide qu'ils contiennent est doué d'une plus grande énergie chimique. Mais la même relation n'a plus lieu quand on compare entre elles des bases de familles différentes, les alcalis, les terres alcalines et les terres, avec les oxides métalliques, par exemple : ainsi l'oxide de plomb est infiniment plus fondant que la baryte, quoiqu'il soit séparé de toutes ses combinaisons par cette terre alcaline.

Causes de la fusibilité.

La fusibilité des silicates simples paraît dépendre de trois causes : 1°. la fusibilité propre de la base ; 2°. son

énergie chimique ; et 3°. la proportion dans laquelle elle entre dans le composé.

Silicates multiples.

Quant aux silicates doubles et multiples, leur fusibilité dépend de la fusibilité des silicates élémentaires. On peut toujours faire fondre un silicate infusible par lui-même, en le combinant avec une proportion convenable d'un silicate fusible ; il paraît même que la fusibilité des silicates multiples est plus grande que la fusibilité moyenne des silicates composans, car beaucoup de silicates infusibles, ou très difficilement fusibles, peuvent former par leurs combinaisons des silicates doubles très fusibles : par exemple, les silicates de chaux et de magnésie, de chaux et d'alumine, etc.

Les silicates alcalins donnent à leurs combinaisons avec d'autres silicates un grand degré de fusibilité. On sait que toutes les pierres qui renferment un alcali sont fusibles ou tout au moins ramollissables. Il est remarquable que les composés qui renferment une proportion un peu considérable d'alcali conservent, comme les silicates alcalins simples, leur aspect vitreux lorsqu'on les fait refroidir très lentement, et qu'ils ne prennent pas alors l'aspect pierreux et la texture cristalline, comme cela arrive à la plupart des autres silicates.

§ 3. — Silicates alcalins et terreux multiples.

Potasse et soude. — La potasse et la soude mêlées ensemble sont plus fondantes que chaque alcali employé isolément. Nous avons préparé (g. f.) les deux silicates :

	KNS¹⁰		KNS⁶⁰
Silice.....	0,855	—	0,924
Potasse.....	0,087	—	0,047
Soude.....	0,058	—	0,029

Le premier a produit un verre homogène, compacte, transparent, d'un gris de silex et bulleux seulement dans quelques parties.

Le second a produit aussi une masse homogène transparente, mais pénétrée dans toutes ses parties d'une multitude de bulles extrêmement petites.

Alcali et chaux. — Lorsqu'on chauffe un silicate simple ou multiple qui renferme une proportion un peu forte d'alcali, avec une base fixe et irréductible, cette base met en liberté une partie de l'alcali, qui se volatilise.

15ᵍ d'un silicate de soude, contenant : . . .	Silice	10ᵍ,35
	Soude	4 ,65
Ayant été chauffés (g. f.) avec	Chaux	5 ,60
		20 ,60
On a eu un culot qui ne pesait que		19 ,20
Il s'est donc volatilisé	Soude	1 ,40

Le culot était compacte, sans bulles, opaque, à cassure pierreuse, un peu luisante; il devait contenir :

Silice.....	0,532
Soude.....	0,169
Chaux.....	0,299

Alcali et alumine. — Le feldspath, qui est composé de : Feldspath.

Silice.....	0,6594	KA^3S^{12}
Alumine.....	0,1775	
Potasse.....	0,1631	

et l'albite, qui contient : Albite.

Silice.....	0,6972	NA^3S^{12}
Alumine.....	0,1879	
Soude.....	0,1143	

se fondent, à Sèvres, comme au grand fourneau à vent, en verres transparens et toujours remplis d'une multitude de très petites bulles.

La couverte qu'on applique sur la porcelaine de Sèvres, et qui est composée de :

Silice.....	0,730	KA^5S^{20}
Alumine.....	0,162	
Potasse.....	0,084	

se fond sur le biscuit, en un verre incolore, émaillé; et dans un creuset brasqué, en un verre à grosses bulles, d'un gris de silex et translucide. Sa couleur est due au charbon.

Une argile, quelle qu'elle soit, se fond toujours en verre, lorsqu'on la chauffe à 150° p. avec la moitié de Argiles.

son poids de carbonate de potasse ou de carbonate de soude : une partie du carbonate s'infiltre dans le charbon avant qu'il y ait combinaison, et il ne reste dans la matière fondue qu'environ 0,12 à 0,15 de son poids d'alcali.

Triphane. *Lithine et alumine.* — Le triphane de Suède, composé, selon M. Arfwedson, de :

Silice.....	0,6640	$LS^3 + 3AS^6$
Alumine.....	0,2530	
Lithine.....	0,0885	
Oxide de fer.....	0,0145	

se fond (g. f.) en un verre compacte, sans bulles, à cassure conchoïde, gris de silex et transparent. Le culot est recouvert d'une multitude de très petites grenailles de fer métallique. Ce résultat prouve que la lithine est un fondant très énergique.

Baryte, chaux. — Les silicates de baryte et de chaux

	$BC^{11}S^{14}$		BC^5S^{14}
Silice.....	0,486	—	0,631
Baryte.....	0,100	—	0,248
Chaux.....	0,414	—	0,121

se fondent (g. f.),

Le premier en un culot compacte, sans bulles, incolore, transparent, à cassure lamelleuse dans un sens, inégale et écailleuse dans d'autres sens ;

Le second en un culot compacte, sans bulles, d'un blanc de perle, translucide, à large cassure conchoïde éclatante, et ressemblant à une belle calcédoine.

Ces culots sont enduits d'une pellicule d'un gris-noir métallique, dont on ne connaît pas la nature.

Baryte, alumine. — Les silicates de baryte et d'alumine

	BA^6S^{14}		BA^4S^{10}
Silice.....	0,550	—	0,570
Alumine.....	0,260	—	0,203
Baryte.....	0,190	—	0,227

Harmotôme. se fondent (S.) en masses compactes, sans bulles, à cassure unie et luisante, vitreuses dans quelques parties, ne présentant aucun indice de cristallisation, d'un gris presque noir. Le premier est identique avec l'harmotôme.

La strontiane jouerait certainement avec les silicates infusibles à peu près le même rôle que la baryte ; mais cette terre est trop rare pour qu'on en fasse usage en Docimasie : on ne l'a pas essayée.

Chaux, magnésie. — La chaux, qui ne forme avec la silice que des composés infusibles ou extrêmement difficiles à fondre, peut donner, avec un grand nombre de silicates infusibles ou peu fusibles, des composés qui se fondent facilement. Cette terre, qui se trouve abondamment dans la nature, est employée presque constamment comme fondant, tant dans les expériences docimasiques, que dans le traitement en grand des minerais métalliques ; il est donc essentiel de connaître la manière dont elle se comporte avec les silicates les plus communs, tels que les silicates de magnésie et d'alumine.

Descostil a obtenu avec

Silice.	Chaux.	Magnésie.	
0,45	0,25	0,30	Une masse opaque.
0,28	0,63	0,09	Une masse un peu vitreuse, difficile à fondre.
0,25	0,58	0,17	Une masse vitreuse translucide, difficile à fondre.

Nous avons soumis à l'expérience les silicates de chaux et de magnésie suivans :

	CMS^2	CMS^4	CM^2S^6	C^2MS^6
Silice.....	0,390	0,564	0,575	0,544
Chaux.....	0,355	0,253	0,173	0,335
Magnésie...	0,255	0,183	0,252	0,121
	CM^3S^9	CMS^6	C^2MS^{12}	CM^3S^{18}
Silice.....	0,704	0,662	0,711	0,733
Chaux.....	0,093	0,198	0,212	0,109
Magnésie...	0,203	0,140	0,077	0,158

Le premier CMS^2, dont la composition atomique est la même que celle du péridot, a donné (S.) un culot compacte, à grains écailleux fins et serrés, translucide dans les fragmens minces. Péridot.

Le deuxième CMS^4, dont la formule est celle du pyroxène, a été préparé un grand nombre de fois (S.) à cause de la beauté des produits qu'il fournit. Il se fond facilement en Pyroxène.

masses compactes, lamelleuses, à grandes lames, ou fibreuses à longues fibres prismatiques. La surface est couverte d'aspérités polyédriques qui ne sont autre chose que les sommets des prismes fasciculés dont elles sont composées. Dans plusieurs expériences il s'est formé au centre du culot une cavité qui était tapissée de beaux cristaux transparens de plusieurs millimètres de largeur, et dont M. Mitscherlich a constaté l'identité absolue avec le pyroxène de la nature. Les culots sont quelquefois saccaroïdes au lieu d'être lamelleux, mais jamais ils ne prennent l'aspect vitreux ordinaire aux matières fondues; en sorte qu'en enlevant la croûte extérieure, qui est noircie par la brasque, il serait impossible de ne pas les confondre avec des échantillons du pyroxène du Piémont qui est connu sous le nom d'*allalite*.

Avec spath fluor. Dans une expérience nous avons ajouté aux élémens du pyroxène CMS^4, 0,06 de leur poids de fluate de chaux en poudre, et alors nous avons obtenu un culot composé de grands cristaux entrelacés, laissant entre eux des espaces vides et ressemblant à une druse naturelle. Les cristaux étaient transparens ou translucides, légèrement verdâtres, éclatans, longs de 2 à 3 centimètres, et larges de plusieurs millimètres, avec des sommets bien prononcés.

Avec chlorure de calcium. Nous en avons fondu aussi avec addition de 30 pour 100 de chlorure de calcium anhydre, dans l'espoir que ce chlorure, qui ne se combine pas avec les silicates, formerait une gangue fusible au milieu de laquelle le pyroxène pourrait cristalliser régulièrement. Effectivement, en concassant en petits morceaux les masses d'apparence homogène que l'on obtient, et en les faisant digérer dans l'eau, il se dissout beaucoup de chlorure de calcium, et le résidu, qui devient poreux, présente une multitude de cristaux très nets; mais ces cristaux sont toujours extrêmement petits.

Quand on fait fondre le pyroxène au fourneau à vent, et quand, par conséquent, le refroidissement a lieu rapidement, la masse est quelquefois saccaroïde; mais elle

ne présente jamais de cristaux, et le plus souvent elle est compacte et vitreuse.

Le troisième silicate CM^2S^6, pyroxène dans lequel 1 atome de magnésie remplace 1 atome de chaux, s'est fondu (S.) en une masse compacte, sans bulles, pierreuse, sans aucune apparence vitreuse, translucide, à cassure cristalline, mais non pas autant, à beaucoup près, que celle du pyroxène ordinaire, quoiqu'il y ait à la surface des indices de prismes. Pyroxène.

Le quatrième C^2MS^6, autre pyroxène dans lequel 1 atome de chaux remplace 1 atome de magnésie, a donné (S.) un culot compacte sans bulles, d'un blanc de lait, opaque, ou légèrement translucide, présentant dans presque toutes ses parties des prismes groupés en divers sens, comme le pyroxène CMS^4, mais d'une manière moins saillante. Pyroxène.

Le cinquième CM^3S^9, identique avec l'amphybole blanc, chauffé (S.) avec 30 pour 100 de chlorure de calcium, a donné une masse compacte, blanche, cristalline, ressemblant au marbre de Carrare : après avoir été concassée et mise en digestion dans l'eau, elle a présenté une structure très lamelleuse, et çà et là de petits prismes d'un blanc nacré, tantôt fasciculés, tantôt goupés de diverses manières, mais dont aucun n'a paru avoir de sommet. Amphybole.

La même combinaison, fondue (S.) avec 0,033 de fluate de chaux, pour imiter la composition d'une amphybole analysée par M. Bonsdorf, a donné un culot d'un très beau blanc, compacte, très dur, à cassure cristalline lamelleuse dans quelques parties, et présentant dans d'autres parties des faisceaux rayonnés, composés de prismes aciculaires non mesurables.

Le sixième silicate CMS^6 a donné (S.) un culot scoriforme à sa surface, mais compacte au centre, à cassure inégale, grenue, opaque, d'un blanc un peu gris : la matière n'a pas dû être bien liquide.

Le septième C^2MS^{12} s'est fondu (S.) en une masse compacte, sans bulles, dure, tenace, opaque, pierreuse,

à cassure inégale, présentant à peine quelques indices de structure cristalline.

Enfin le dernier CM^2S^{12} s'est fondu (S.) en un culot un peu bulleux, d'un gris clair, translucide, à cassure grenue, et présentant quelques points cristallins : il ressemblait un peu à du pétrosilex.

Chaux, alumine. — Selon M. Lampadius, on a une masse transparente sur les bords, et présentant l'aspect de la porcelaine avec 0,50 de silice, 0,34 de chaux, et 0,16 d'alumine ; un verre blanc de lait et translucide avec 0,50 de silice, 0,16 de chaux, et 0,34 d'alumine ; un verre blanc, à l'exception du noyau, avec 0,16 de silice, 0,50 de chaux, et 0,34 d'alumine ; une porcelaine avec 0,34 de silice, 0,16 de chaux, et 0,50 d'alumine, et avec 0,16 de silice, 0,34 de chaux, et 0,50 d'alumine.

Selon MM. Lampadius et Descostil, on obtient un verre blanc avec 0,33 de silice, 0,33 de chaux, et 0,33 d'alumine, et selon Descostil, 0,28 de silice, 0,63 de chaux, et 0,19 d'alumine, ne donnent qu'une masse friable infusible.

Nous avons essayé les silicates de chaux et d'alumine :

	CAS	CAS^2	CAS^4	CAS^6
Silice.....	0,259 —	0,410 —	0,582 —	0,677
Chaux.....	0,463 —	0,368 —	0,261 —	0,202
Alumine...	0,278 —	0,220 —	0,157 —	0,121
	CA^3S^2	CA^3S^4	CA^3S^{12}	C^2AS^2
Silice.....	0,437 —	0,443 —	0,705 —	0,384
Chaux.....	0,260 —	0,199 —	0,105 —	0,473
Alumine...	0,313 —	0,358 —	0,190 —	0,142

Le premier CAS a donné (S.) un culot caverneux, à cassure inégale presque unie. Dans la plupart des cavités il y avait des grains pulvérulens, ce qui annonce que la matière n'était pas parfaitement homogène, et par conséquent qu'il n'y avait pas eu pleine fusion.

Grenat. Le deuxième CAS^2, dont la composition se rapporte à celle des grenats, a donné (S.) un culot parfaitement fondu, d'un blanc de porcelaine, très dur, opaque, à

cassure inégale matte, et dans lequel on distinguait çà et là quelques grains cristallins très petits, mais auxquels on n'a pas pu reconnaître la forme ordinaire du grenat.

Avec spath fluor. On a fondu le même composé avec addition de 0,075 de fluate de chaux, et l'on a eu (S.) un culot compacte, sans bulles, en partie vitreux et parfaitement transparent, en partie translucide et cireux, mais sans la moindre apparence de cristallisation; il ressemblait à du quarz hydrophane.

Avec chlorure de calcium. Essayé avec du chlorure de calcium, le silicate CAS^2 a donné un culot compacte et sans apparence cristalline, mais qui, après avoir été lavé, offrait au milieu de la masse une multitude de petits cristaux très éclatans. Avec son poids de chlorure de barium, il a produit un culot compacte légèrement cristallin, ressemblant à du marbre blanc, et qui, après avoir été lavé, présentait une texture cristalline très prononcée, mais il ne contenait pas de cristaux réguliers.

Chlorure de barium.

Les laitiers des hauts-fourneaux ont souvent une composition qui s'approche de CAS^2 : ordinairement leur aspect est vitreux.

Le troisième silicate CAS^4 a donné (S.) un culot compacte, sans bulles, blanc, légèrement translucide, à grains fins et lamelleux, et ayant quelque ressemblance avec le pétrosilex. Cette combinaison est celle qui se présente le plus souvent dans les laitiers des hauts-fourneaux alimentés par le charbon de bois : elle est très fusible, et prend l'état vitreux quand elle est refroidie rapidement.

Le quatrième silicate CAS^6 a donné (S.) un culot rempli de cavités, pierreux, à cassure inégale et grenue, opaque et d'un beau blanc.

Épidote. Le cinquième CA^2S^3, qui représente une *épidote*, a donné (S.) un culot compacte, sans bulles, à cassure inégale, grenue, opaque, et ne présentant aucun indice de cristallisation.

Pareuthine. Le sixième $CA^3\ S^4$, analogue à la *parenthine*, a donné (S.) un culot rempli de grandes bulles, opaque, à cassure inégale et grenue, matte, sans indice de cristallisation.

Feld-spath. Le septième $CA^3 S^{12}$, qui représente un feld-spath calcaire, s'est fondu (S.) en un culot compacte, pierreux, opaque, à cassure saccaroïde; les grains étaient très distinctement cristallins et transparens.

Idocrase. Enfin le dernier C^2AS^3, qui est identique avec *l'idocrase*, a donné (S.) un culot compacte, sans bulles, très tenace, d'un blanc un peu gris, à cassure inégale, translucide dans les fragmens minces, ressemblant à du quarz

Laitiers. compacte, sans indice de cristallisation. Cette combinaison se rencontre très fréquemment dans les hauts-fourneaux d'Angleterre, qui, comme on sait, sont toujours chauffés avec du coke : elle forme un laitier de très bonne qualité et bien fusible; elle est tantôt vitreuse et tantôt pierreuse; elle prend souvent la texture cristalline; on la voit même assez fréquemment cristallisée régulièrement dans les cavités des morceaux de laitiers : les cristaux ont jusqu'à un demi-centimètre de longueur. Leur forme est le prisme octogonal, comme celui de l'idocrase naturelle.

Nous avons encore préparé les silicates de chaux et d'alumine suivans (g. f.), en mêlant ensemble en diverses proportions de l'argile, du sable quarzeux et du marbre :

Silice.....	0,265	—	312	—	0,341	—	0,333
Chaux.....	0,600	—	528	—	0,483	—	0,600
Alumine...	0,135	—	160	—	0,176	—	0,067

Le premier est resté absolument pulvérulent;

Le deuxième a donné un culot pierreux et tenace, sur l'épaisseur d'un à deux millimètres; mais à son centre la matière était restée pulvérulente;

Le troisième s'est fondu en masse compacte, sans bulles, très tenace, à cassure cireuse un peu luisante, et translucide dans les éclats minces;

Et le quatrième a produit à peu près le même résultat que le précédent.

Conséquences. L'ensemble des faits apprend que parmi les composés que la silice peut former avec la chaux et l'alumine, les plus fusibles sont ceux qui sont compris entre (C, A) S^2 et

$(C, A)\,S^{\frac{1}{2}}$, et que ces composés sont d'autant plus fusibles qu'ils se rapprochent plus d'avoir pour base C^3A; ils fondent assez bien encore quand cette base est CA; mais ils deviennent beaucoup moins fusibles quand la base est CA^2. Les argiles les plus riches en alumine, sauf quelques exceptions, ont pour formule de composition AS^2 : il s'ensuit qu'en y ajoutant une quantité de chaux intermédiaire entre C et C^3, ou l'équivalent en carbonate de chaux, elles doivent toujours bien fondre; mais que la fusion doit être plus facile encore lorsqu'on y ajoute de S à S^4 de silice. L'addition de la silice est d'ailleurs presque toujours superflue, parce qu'il est rare que les argiles ne soient pas mélangées d'une certaine quantité de sable quarzeux. Une longue pratique nous a appris que l'on rend une argile quelconque assez fusible pour que des grenailles métalliques puissent la traverser et se réunir en culot, en y ajoutant de la moitié aux trois quarts de son poids de carbonate de chaux. Quand les argiles, ainsi que cela arrive quelquefois, sont mélangées d'hydrate d'alumine, il devient nécessaire d'y ajouter à la fois de la silice et de la chaux.

Les silicates de chaux et d'alumine peuvent contenir un grand excès de chaux sans cesser d'être fusibles; mais alors ils le sont d'autant moins qu'ils renferment plus d'alumine. Les bonnes argiles plastiques ne se fondent qu'avec deux fois et demie leur poids de marbre; mais la même proportion de pierre calcaire fait parfaitement fondre un mélange à parties égales d'argile et de sable quarzeux.

Ciment hydraulique.

L'addition d'une petite proportion de diverses autres bases augmente beaucoup la fusibilité : ainsi le silicate composé de :

Silice.....	0,380
Chaux.....	0,500
Alumine.....	0,065
Magnésie.....	0,020
Protoxide de manganèse.	0,035

que l'on obtient en chauffant le ciment hydraulique de

Pouilly (Yonne) au creuset brasqué, se fond en une masse compacte, semblable à un émail un peu verdâtre, çà et là lamelleux, et qui prend assez de liquidité pour que des grenailles de fonte puissent la traverser.

Chaux et glucine. — Le silicate de chaux et de glucine

	CGS^4
Silice.....	0,550
Chaux.....	0,250
Glucine.....	0,200

s'est parfaitement fondu (g. f.) en un culot compacte, vitreux, à cassure conchoïde éclatante, transparent et incolore dans la plus grande partie de sa masse, translucide et émaillé dans quelques points.

Magnésie et alumine. — Les silicates de magnésie et d'alumine

	MAS^3		MAS^4
Silice.....	0,459	—	0,630
Magnésie.....	0,293	—	0,200
Alumine.....	0,248	—	0,170

se sont complétement fondus (S.) et ont donné :

Le premier un culot compacte, pierreux, à cassure unie ou inégale, un peu luisante, translucide dans les éclats minces ;

Le second un culot compacte, pierreux, d'un blanc un peu gris, opaque, à cassure inégale et matte.

La magnésie peut donc, comme la chaux, déterminer la fusion des silicates d'alumine, mais elle est beaucoup moins fondante.

Glucine et alumine. — L'émeraude de Limoges, qui est composée de

	GA^3S^9
Silice.....	0,6798
Glucine.....	0,1372
Alumine.....	0,1830

se fond (g. f.) en un culot un peu bulleux, d'un très beau blanc, extrêmement dur et tenace, à cassure inégale et à grains très fins, ayant tous les caractères d'une belle porcelaine.

§ 4. — Silicates métalliques.

Cérium. — L'oxide de cérium, qui a beaucoup d'analogie avec l'oxide de manganèse, peut comme celui-ci former des composés fusibles avec la silice; nous avons essayé le silicate

	CS^6	
Silice.....	0,637	(g. f.)
Protoxide de cérium.....	0,363	

on a eu un culot parfaitement fondu, compacte et sans bulles; il avait à l'extérieur l'aspect d'un émail d'étain; à l'intérieur il était dans une partie blanc d'émail et opaque, et dans une autre partie, également blanc et opaque, mais à cassure satinée, indice d'un commencement de cristallisation.

Manganèse. — Nous avons préparé les silicates de manganèse avec du sable de Nemours et avec du carbonate de manganèse bien pur. Nous avons essayé les combinaisons suivantes : Manière d'opérer.

	Mn^2S	MnS	MnS^2	MnS^4
Silice.....	0,180 —	0,338 —	0,466 —	0,640
Protoxide de mangan.	0,820 —	0,662 —	0,534 —	0,360

Le premier Mn^2S (S.) s'est fondu en masse compacte d'un vert sombre, à cassure un peu lamelleuse et très fragile, qui paraissait être mêlée çà et là d'oxide brun de manganèse; elle était brisée en petits morceaux et répandait l'odeur d'hydrogène sous l'haleine; cependant on n'y apercevait pas de grains métalliques.

Le deuxième MnS (S.) s'est fondu en un culot compacte, sans bulles et sans la moindre apparence vitreuse, d'un gris verdâtre et d'un éclat gras, fortement translucide, divisible en divers sens, en lames larges et éclatantes, ayant la forme du péridot. Péridot.

Le même silicate, fondu au grand fourneau, a donné un culot d'un vert-olive, opaque ou à peine translucide sur les bords, ayant au centre une grande cavité remplie de rudimens de grands cristaux. Il y avait en outre un petit grain de manganèse métallique, pesant $\frac{1}{100}$ du poids de la masse.

Pyroxène. Le troisième MnS^2 (S.) (pyroxène) a donné un culot de couleur blonde ou d'un rouge de chair pâle, opaque ou à peine translucide, sans bulles, lamelleux dans toutes ses parties, à grandes lames entrecroisées très éclatantes. Cette structure le rendait très fragile : la matière a dû être très fluide.

Le quatrième MnS^4 (S.) a donné un culot rempli de cavités et scoriforme, facile à écraser entre les doigts, à cause de sa texture, mais très dur et rayant fortement le verre; à cassure grenue et matte dans la plus grande partie, et lamelleuse dans quelques points, opaque et d'un aspect terreux, verte à l'extérieur et d'un blond clair à l'intérieur. La matière a dû être ramollie; mais elle n'a pas dû éprouver de fusion complète.

Manganèse et chaux. — Nous avons essayé les silicates doubles de manganèse et de chaux

	$MnCS^4$	MnC^2S^6	$Mn^2C^2S^9$	MnC^2S^9	MnC^4S^{12}
Silice.....	0,497	—0,498	—0,524	—0,605	—0,706
Protoxide de mangan.	0,267	—0,196	—0,268	—0,155	—0,071
Chaux.....	0,236	—0,306	—0,208	—0,240	—0,223

Pyroxène. Le premier $MnCS^4$ (S.) (pyroxène) a donné un culot parfaitement fondu, d'un gris très clair, légèrement translucide, à cassure inégale et un peu cireuse, présentant çà et là des indices de cristallisation en prismes. Au g. f. le même silicate double produit un culot compacte, sans bulles, à cassure largement conchoïde et luisante, transparent et de couleur enfumée; il présentait çà et là à la surface quelques taches métalliques, indice d'un commencement de réduction du manganèse.

Pyroxène. Le deuxième MnC^2S^6 (S.) (pyroxène) a donné un culot compacte, sans bulles, incolore ou d'un gris très légèrement olivâtre, fortement translucide, d'un éclat nacré, à cassure lamelleuse courbe, entièrement composé de prismes fasciculés, peu distincts les uns des autres; mais la cristallisation était très apparente à la surface par les sommets des prismes.

Le troisième $Mn^2C^2S^9$ (S.) a donné un culot compacte, légèrement translucide, d'une couleur variant du

vert d'asperge au jaune-blond, très lamelleux, à lames fibreuses contournées.

Le quatrième MnC^3S^9 (S.) a donné un culot très bien fondu, mais brisé en morceaux à cause de sa fragilité, lamelleux, à très grandes lames, fortement translucide, légèrement verdâtre, et ayant absolument l'aspect du triphane.

Le cinquième MnC^4S^{22}, dans lequel la silice contient plus de quatre fois autant d'oxigène que les bases, a donné un culot scoriforme et gris à l'extérieur, compacte, avec quelques bulles à l'intérieur, à cassure lamelleuse ou écailleuse, blanche, brillante et translucide: il a dû y avoir fusion complète, mais non très liquide.

Manganèse et magnésie. — Les silicates de manganèse et de magnésie

	$MnMgS^2$	$MnMgS^4$	Mn^2MgS^6
Silice.....	0,361 —	0,526 —	0,489
Protoxide de manganèse...	0,412 —	0,304 —	0,400
Magnésie.....	0,227 —	0,170 —	0,111

ont donné :

Le premier $MnMgS^2$ (S.) (péridot) un culot bien arrondi, compacte, sans la moindre bulle, d'un gris clair à cassure lithoïde terne ; Péridot.

Le deuxième $MnMgS^4$ (S.) (pyroxène) un culot semblable au précédent, mais à cassure lamelleuse; les lames avaient de l'éclat et étaient translucides, quelques-unes, très petites, paraissaient avoir des formes déterminables : dans une autre expérience on a eu un culot bulleux et presque scoriforme, d'un gris très clair, à peine translucide sur les bords, à cassure lamelleuse à très petites lames : l'essai avait probablement été trop peu chauffé ; Pyroxène.

Le troisième Mn^2MgS^6 (S.) (pyroxène) un culot compacte, sans bulles, d'un gris un peu verdâtre, légèrement translucide, à cassure inégale, cireuse, un peu luisante, présentant çà et là quelques particules cristallines microscopiques. Pyroxène.

Manganèse et alumine. — Les silicates de manganèse et d'alumine

			MA^2S^4
Silice.....	0,570	—	0,467
Protoxide de manganèse...	0,190	—	0,275
Alumine.....	0,233	—	0,258

ont donné :

Le premier (g. f.) un culot arrondi, ayant la forme d'un champignon porté sur sa tige, compacte, presque sans bulles, à cassure vitreuse éclatante, d'un vert-olive, et à peine translucide sur les bords : la fusion a dû être un peu pâteuse ;

Parenthine. Le second MA^2S^4 (S.), (parenthine) un culot compacte et sans bulles, à cassure raboteuse, vitreusse et luisante, d'un vert-olive clair dans sa plus grande partie, grenue, grisâtre et opaque dans d'autres, très tenace, sans aucun indice de cristallisation.

Mode d'opérer. *Fer.* — Les essais sur les silicates de fer ne pouvaient être faits dans des creusets brasqués, à cause de la facilité avec laquelle l'oxide de fer se réduit par le contact du charbon. Nous en avons exécuté quelques-uns dans des creusets de terre nus; mais, d'une part, la matière du creuset, facilement attaquable, devait altérer la pureté du silicate ; et, d'un autre côté, on éprouve une extrême difficulté à saisir le point où toute la matière est en pleine fusion ; époque à laquelle il est indispensable d'arrêter le feu, sans quoi le silicate pénètre à travers le creuset et le ronge comme de la litharge. Nous avons même remarqué que cette matière s'insinue dans les pores du creuset dès qu'elle est ramollie et avant la fusion complète, de sorte que quand on parvient à fondre la combinaison avant que le creuset ne soit traversé ou fondu, il ne reste jamais qu'une quantité assez petite du silicate. On doit donc toujours avoir des doutes sur la composition de ce silicate.

Ces difficultés nous ont déterminé à nous servir de creusets en fer. Nous avons d'abord employé des creusets de tôle forte, fabriqués par les mêmes procédés que les creusets de platine et d'argent ; mais ces creusets ont rarement pu résister à l'action d'une haute température ; ils se sont presque tous gercés, et ont laissé suinter une grande partie de la matière fondue. Nous

leur avons substitué avec grand succès des creusets faits à la manière des canons de fusil, et tournés à l'intérieur et à l'extérieur. Ceux dont nous nous sommes servi avaient 8 centimètres de hauteur, 6 centimètres de diamètre, et 3 millimètres d'épaisseur. Nous les placions dans des creusets de terre réfractaire moulés sur eux, et nous les bouchions avec un couvercle de terre bien luté. Après les expériences nous détachions la matière fondue avec un ciseau d'acier trempé, nous achevions de nettoyer le creuset en le faisant digérer dans de l'acide muriatique; et nous pouvions nous en servir pour de nouvelles expériences.

Protoxide.

Nous avons essayé des silicates de fer à base de protoxide, à base d'oxide de battitures et à base de peroxide. Pour préparer les silicates à base de protoxide, nous avons employé des battitures choisies avec soin, et dont nous connaissions la composition, et nous y avons ajouté la quantité de fer métallique en limailles suffisante pour que le mélange puisse se transformer en protoxide par l'action de la silice : tous les silicates qui vont être décrits ont été chauffés dans le grand fourneau à vent.

Nous avons préparé les quatre silicates de protoxide de fer

	f^3S	fS	fS^2	fS^3
Silice.....	0,180 —	0,310 —	0,475 —	0,575
Protoxide de fer...	0,820 —	0,690 —	0,525 —	0,425

Le premier f^3S a donné une matière bulleuse, à très petits grains dans une partie de la masse, et confusément cristalline dans d'autres parties : l'intérieur des bulles paraissait être tapissé de cristaux microscopiques. La matière était d'un gris très foncé tirant sur l'olivâtre, et un peu métalloïde.

Dans des creusets de terre, le silicate f^3S se fond en scorie noire, lamelleuse en divers sens, très magnétique, et ressemblant tout-à-fait à une scorie de forge; cette scorie s'imbibe dans les creusets, et les traverse comme de la litharge.

Péridot.

Le deuxième fS (péridot à base de fer) s'est très fa-

cilement fondu, même en n'ouvrant qu'à moitié le régulateur du fourneau; il a donné une masse lamelleuse à grands clivages entrecroisés et très éclatans, d'un gris-olive foncé, ayant çà et là quelques reflets métalloïdes. On voyait à la surface l'indice d'une cristallisation prismatique rectangulaire qui se manifestait par des carrés de 2 à 3 millimètres de côté.

Ce composé pénètre si facilement les creusets de terre, qu'il est extrêmement difficile de l'amener en pleine fusion dans ces creusets sans qu'il se perde entièrement.

Pyroxène. Le troisième silicate fS^2 (pyroxène à base de fer) s'est fondu en une masse compacte à cassure inégale, présentant dans quelques parties seulement des indices de cristallisation, d'une couleur olive pâle et grisâtre, peu métallique.

Le quatrième fS^3 s'est fondu dans un creuset de terre sans le traverser : il a donné une masse compacte, homogène, à cassure inégale ou conchoïde luisante, opaque, d'un gris olivâtre sans reflet métallique, et n'agissant aucunement sur le barreau aimanté.

Les silicates de fer f^3S, fS *et* fS^2 sont la base des scories de forges, dans lesquelles on les trouve souvent en cristaux réguliers. Les deux premiers sont les plus communs.

Battitures. Nous avons chauffé dans des creusets de terre les silicates suivans, dans lesquels le signe ff indique l'oxide de fer des battitures :

	ffS		ffS^2		ffS^4		ffS^6
Silice.....	0,33	—	0,50	—	0,67	—	0,75
Battitures....	0,67	—	0,50	—	0,33	—	0,25

Le premier ffS est beaucoup moins fusible que le protosilicate correspondant. Il a donné une masse légèrement bulleuse, noire, sans éclat, très fortement magnétique, présentant une multitude de très petites écailles cristallines et métalloïdes.

Le deuxième ffS^2 est devenu extrêmement liquide, et a pénétré en partie à travers le creuset. La matière était

compacte, d'un noir métalloïde, très magnétique, à cassure inégale et luisante.

Le troisième ffS^4 a donné une matière semblable à la précédente, très fortement magnétique ; mais elle n'a pas traversé le creuset.

Le quatrième ffS^6 s'est encore parfaitement fondu, et a donné un résultat semblable au précédent.

Les silicates de peroxide de fer sont infusibles. Nous avons essayé les silicates Peroxide.

	FS		FS³
Silice.....	0,377	—	0,547
Peroxide de fer.....	0,623	—	0,453

Les mélanges n'ont pas diminué de volume : il n'y a pas eu combinaison. Les culots étaient tenaces, d'un gris foncé et magnétiques, mais leur poussière était rouge, et l'on y distinguait les grains d'oxide de fer qui étaient devenus d'un noir métalloïde à la surface, sans doute parce que les vapeurs combustibles les avaient amenés en partie à l'état d'oxide magnétique.

Fer et chaux. — Les silicates de protoxide de fer et de chaux ;

	fCS^2		f^3CS^2		fCS^4
Silice.....	0,337	—	0,329	—	0,500
Protoxide de fer...	0,364	—	0,475	—	0,280
Chaux.....	0,299	—	0,196	—	0,220

chauffés dans des creusets de fer, ont donné :

Le premier fCS^2 une matière compacte, d'un gris noir un peu métalloïde, présentant des clivages éclatans dans quelques parties, et offrant à la surface une cristallisation étoilée comme le sulfure d'antimoine : il est probable que si l'on faisait fondre dans un four à porcelaine ce silicate, qui par sa composition atomique est analogue au péridot, on pourrait l'avoir en beaux cristaux; Péridot.

Le deuxième f^3CS^3 (autre péridot) une matière compacte, sans bulles, d'un gris foncé peu éclatant, très fortement magnétique, à cassure inégale, vitreuse ou cristalline, présentant des faisceaux rayonnés et confus; Péridot.

Le troisième fCS^4 (pyroxène) un résultat semblable en Pyroxène.

tout au précédent. La poussière de la matière était d'un gris clair légèrement olivâtre.

Péridot. *Fer et magnésie.* — Le silicate de protoxide de fer et de magnésie

	fM^4S^5
Silice.....	0,403
Protoxide de fer.....	0,175
Magnésie.....	0,422

qui représente un péridot, s'est parfaitement fondu en une masse poreuse, opaque, d'un gris clair sans éclat, ne présentant aucun indice de cristallisation.

Grenat. *Fer et alumine.* — Le silicate de protoxide de fer et d'alumine

	fAS^2
Silice.....	0,376
Protoxide de fer.....	0,420
Alumine.....	0,204

dont la composition se rapporte à celle des grenats, s'est fondu, dans un creuset de terre, en une masse compacte, sans bulles, extrêmement tenace, à cassure légèrement conchoïde ou cireuse, luisante, translucide sur les bords seulement; par réflexion, elle était d'un vert presque noir, mais vue par transparence dans les éclats minces, elle était couleur de résine; elle n'agissait qu'à peine sur le barreau aimanté. Quoique ayant été très liquide, elle n'avait pas attaqué le creuset.

Grenat. *Fer et chaux.* — Le silicate de peroxide de fer et de chaux

	FCS^2
Silice.....	0,361
Peroxide de fer.....	0,306
Chaux.....	0,333

qui représente un grenat, s'est fondu, dans un creuset de terre, en un verre compacte noir, à cassure largement conchoïde très éclatante, à peine translucide sur les bords, d'un brun jaunâtre dans les éclats minces, sans action sur le barreau aimanté; sa poussière était d'un blond sale foncé. Plus de la moitié de la matière s'était infiltrée à travers les pores du creuset.

Fer et alumine. — Les silicates de peroxide de fer et d'alumine

	FAS^3		FAS^4
Silice.....	0,357	—	0,600
Peroxide de fer.....	0,388	—	0,240
Alumine.....	0,255	—	0,160

chauffés dans des creusets de terre, ont donné :

Le premier FAS^3 une masse contenant une grande cavité à son centre, et qui paraissait n'avoir été que pâteuse : elle ressemblait à une scorie de forge mal fondue. Au centre elle était gris noirâtre, à cassure inégale et opaque; au contact du creuset elle était vitreuse, éclatante, mais opaque, très fortement magnétique, à poussière noire grisâtre, sans éclat : elle n'avait pas attaqué le creuset.

Le second FAS^4 s'est complètement fondu en un verre noir éclatant, très dur et très tenace, un peu bulleux, à cassure conchoïde luisante, opaque, même dans les éclats les plus minces, à poussière noire grisâtre, sans nuance de rouge, très fortement magnétique : il n'avait pas attaqué le creuset.

Dans ces trois expériences avec le peroxide de fer, il est évident qu'une partie de cet oxide a été ramené au *minimum* par les vapeurs combustibles, et que c'est le protoxide qui s'est formé qui a déterminé la fusion du silicate.

Fer et manganèse. — Le silicate de protoxide de fer et de protoxide de manganèse $f\mathrm{MnS}^4$ (pyroxène) Pyroxène.

Silice.....	0,470
Protoxide de fer.....	0,260
Protoxide de manganèse...	0,270

chauffé dans un creuset de fer, a donné une masse bien fondue, homogène, mais très bulleuse, à cassure inégale et matte, d'un aspect pierreux, d'un gris très clair, ne présentant aucun indice de cristallisation.

Cuivre. — Nous avons préparé les silicates de protoxide de cuivre suivans avec du sable quarzeux, du deutoxide de cuivre et du cuivre métallique. Protoxide.

	CS	CS²	CS³
Silice.....	0,177 —	0,301 —	0,393
Protoxide de cuivre.	0,823 —	0,699 —	0,607

Le premier CS a donné (p. f.) un culot homogène qui s'est détaché aisément du creuset, et qui n'avait éprouvé qu'un commencement de fusion pâteuse; il était compacte, tenace, d'un brun-rouge un peu métalloïde, mais sa poussière était rouge clair. A 150° il aurait certainement été très fusible.

Le deuxième CS² (g. f.) s'est fondu en un culot rempli de petites bulles, à cassure inégale et luisante, d'un beau rouge violet foncé : la matière avait dû être très fluide, et avait pénétré en partie à travers les pores du creuset.

Le troisième CS³ (g. f.) a donné un culot de même forme que le mélange des matières, tenace, celluleux, à cassure en partie matte et en partie luisante, opaque, d'un rouge violacé : la matière a dû être fortement ramollie, mais non parfaitement fluide. Une partie des petits grains de quarz étaient remontés à la surface, et n'avaient pu être dissous en totalité avant qu'une partie du silicate se fût fondue.

Deutoxide. Le silicate de deutoxide CS⁴

Silice.....	0,421
Deutoxide de cuivre...	0,579

a donné (g. f.) un culot semblable au précédent, et qui n'a dû éprouver qu'une demi-fusion. Il était d'un rouge de sang, ce qui prouve qu'il était à base de protoxide, et que la chaleur et l'action de la silice avaient complètement ramené le deutoxide au *minimum*.

Protoxide de cuivre et alumine. — Le silicate de protoxide de cuivre et d'alumine CAS²

Silice.....	0,256
Protoxide de cuivre...	0,600
Alumine.....	0,144

a produit une masse compacte, sans bulles, à cassure légèrement conchoïde, très éclatante, d'un beau rouge

de cire à cacheter, tirant un peu sur l'orangé, opaque, même dans les fragmens les plus minces.

On voit que le protosilicate de cuivre est un bon fondant pour les silicates d'alumine.

Antimoine. — Le silicate de protoxide d'antimoine SbS, composé de :

Protoxide d'antimoine.....	0,767
Silice.....	0,233

et que l'on peut facilement préparer en chauffant (p. f.) un mélange de :

Acide antimonieux.....	$3o^{é},19$ — 3^{at}
Antimoine métallique.....	8,06 — 1
Sable quarzeux.....	11,60 — 2

se fond à la chaleur blanche en pâte molle, et forme un beau verre éclatant, transparent ou fortement translucide, et d'un jaune de topaze comme les silicates de plomb.

Étain. — On n'a pas fait d'essais sur les silicates d'étain simples. Les silicates de protoxide sont probablement fusibles, car cet oxide paraît augmenter la fluidité des scories, dans lesquelles il se trouve en proportion un peu considérable : nous en citerons des exemples dans le chapitre relatif à l'étain. Il est vraisemblable, au contraire, que les silicates de deutoxide sont infusibles ou peu fusibles; car l'opacité des émaux semble être due à une imparfaite dissolution du deutoxide d'étain dans une substance vitreuse.

Zinc. — Tous les silicates simples de zinc sont infusibles; mais ils peuvent se fondre par l'addition de diverses bases.

Oxide de zinc et chaux. — Nous avons essayé (g. f.) les composés suivans :

	ZCS^6	ZCS^4	ZCS^3
Silice.....	0,302 —	0,465 —	0,556
Oxide de zinc...	0,408 —	0,314 —	0,264
Chaux.....	0,290 —	0,220 —	0,180

Le premier a produit un verre compacte, sans bulles,

d'une transparence parfaite et d'un beau vert émeraude pâle.

Le second a donné un résultat semblable.

Le troisième s'est fondu aussi en verre transparent ; mais le culot était recouvert à la partie supérieure d'une couche mince d'un émail translucide blanc, çà et là nuancé de bleu.

Oxide de zinc et alumine. — Le silicate ZAS^4, composé de :

Silice.....	0,525
Oxide de zinc.....	0,332
Alumine.....	0,143

se fond (g. f.) en masse compacte, sans bulles, à cassure conchoïde éclatante, translucide, d'un blanc d'émail opalin nuancé de bleu et de violet, et ayant l'aspect d'une belle calcédoine.

Oxide de zinc et protoxide de fer. — Nous avons soumis à l'expérience (g. f.) les deux silicates de zinc et de fer suivans :

	Z^2fS^6		ZfS^4
Silice.....	0,460	—	0,451
Oxide de zinc....	0,380	—	0,299
Protoxide de fer..	0,160	—	0,253

Ils se sont fondus l'un et l'autre en une masse compacte, çà et là bulleuse, à cassure un peu conchoïde luisante ou cireuse, opaque, d'un gris foncé presque noir et non métalloïde. La fusion a dû être pâteuse.

Bismuth. — L'oxide de bismuth se comporte avec la silice et avec les silicates absolument de la même manière que l'oxide de plomb, et il est plus fondant encore.

Plomb. — Nous avons essayé les silicates de plomb

	PS	PS^2	PS^3	PS^6	PS^{12}
Silice.....	0,122	0,217	0,294	0,436	0,626
Oxide de plomb.	0,878	0,782	0,706	0,544	0,374

dans des creusets de terre, au fourneau de calcination, donnant 50 à 60° p.

Les deux premiers PS et PS^2 se sont facilement fondus en verres compactes, sans bulles, transparens,

très éclatans, et d'un jaune de résine tirant sur le jaune de miel.

Le troisième PS^3 a donné un verre compacte, transparent, éclatant, d'un jaune de soufre.

Le quatrième PS^6 a donné un verre d'un jaune pâle.

Le cinquième PS^{12} ne s'est pas fondu au petit fourneau; au grand fourneau il a donné un émail spongieux d'un beau blanc : il y a donc eu combinaison et ramollissement, mais sans fusion.

L'oxide de plomb peut faire fondre tous les silicates sans exception, quand il est employé en proportion convenable.

On sait que le cristal est un silicate de plomb et de potasse. (*Voyez* le chapitre relatif au plomb.)

Un silicate de chaux et d'alumine, fusible seulement à la température de 150°, se vitrifie aisément à 60°, avec addition des trois quarts de son poids de litharge.

Argent. — On n'a pas encore trouvé le moyen de préparer du silicate d'argent pur. Lorsqu'on chauffe ensemble de la silice et du nitrate d'argent, ce métal se retrouve tout entier en grenailles au milieu de la silice; mais dans les arts métallurgiques il arrive souvent que l'argent entre en combinaison dans les silicates. L'oxide d'argent est un fondant encore plus énergique que l'oxide de plomb, et lorsqu'il se trouve avec cet oxide ou avec l'oxide de cuivre, il a une bien plus grande tendance que la litharge à passer à travers les creusets.

Argent et cuivre. — Nous avons préparé un silicate de cuivre et d'argent avec de l'argent en copeaux, du sulfate de cuivre anhydre et de la silice (p. f.). Nous avons eu une masse scoriforme d'un brun-gris très foncé, luisante, un peu métalloïde près des parois du creuset, où elle avait été en fonte pâteuse; matte à l'intérieur, où la fusion avait été moins avancée : sa poussière était couleur de terre : il y avait çà et là un grand nombre de petites grenailles d'argent. D'après le poids de ces grenailles, on a trouvé que la scorie devait être composée d'environ :

Silice.....	0,50
Oxide d'argent.....	0,32
Protoxide de cuivre...	0,18

Argent et plomb. — Toutes les fois que l'on fond de l'argent avec de la silice et du sulfate de plomb ou du minium, il se produit un verre qui retient une quantité très notable d'oxide d'argent (0,05 à 0,06).

Divers métaux. — Les oxides de chrôme, de molybdène, de tungstène, de titane, etc., ne forment pas de composés simples fusibles avec la silice; mais ils peuvent être parties constituantes d'un grand nombre de silicates multiples très fusibles : on en verra des exemples aux chapitres consacrés à chacun de ces métaux.

ARTICLE II. — *Chaux, magnésie, alumine.*

On a vu qu'aucun silicate terreux simple n'est parfaitement fusible, et que les silicates doubles ne se fondent bien que quand les bases s'y trouvent dans des proportions comprises entre certaines limites; on emploie selon les circonstances, la chaux, la magnésie ou l'alumine, pour amener un silicate infusible ou peu fusible à avoir une composition telle, qu'il puisse se liquéfier complètement à la température des fourneaux d'essais. Quelquefois, pour atteindre ce but, il est même nécessaire d'employer à la fois deux de ces terres.

Propriétés. *Chaux.* — La *chaux* est un oxide métallique de la classe des terres alcalines. Elle est blanche, pulvérulente, d'une saveur âcre, chaude et très caustique; sa densité est de 2,3. Elle est infusible et fixe, et irréductible par le charbon. Elle se dissout dans environ 635 fois son poids d'eau f., et dans 1270 fois son poids d'eau b. Quand on l'arrose avec de l'eau, elle absorbe ce liquide et se solidifie en produisant un développement de chaleur qui fait monter le thermomètre à 301°, et il se forme un hydrate qui, lorsqu'il est bien sec, contient 0,25 d'eau. Avec le soufre, le phosphore, le chlore, elle donne par *voie humide* un mélange de sulfure, phosphore, chlorure métallique, etc., et d'un sel oxigéné. L'hy-

drogène sulfuré la change en sulfure pur à la chaleur rouge. La chaux est une base forte qui se combine très facilement avec les acides les plus faibles, même avec l'acide carbonique. Elle dissout plusieurs oxides métalliques, entre autres ceux de plomb et de mercure. Elle est très soluble dans les dissolutions de sucre. Elle est composée de : Composition.

Calcium.....	0,7191	— 100	
Oxigène.....	0,2809	— 39,08	$\dot{C}a$

Son atome pèse 356,019.

On emploie très rarement la chaux à l'état caustique pour les essais, parce que cela n'est pas nécessaire, et qu'il serait difficile de la conserver et de la peser à cet état, sans qu'elle attirât une certaine quantité d'eau et d'acide carbonique de l'atmosphère. On préfère se servir de carbonate de chaux, que la nature nous offre en abondance, et qui se conserve sans altération à l'air. La chaleur rouge naissante n'altère pas ce carbonate ; mais la chaleur blanche le décompose et en dégage l'acide carbonique. Lorsqu'on le chauffe fortement sous une pression considérable, il se fond sans se décomposer, et cristallise en se refroidissant. L'eau pure ne le dissout pas. Il est composé de Usage.

Chaux.....	0,5639
Acide carbonique...	0,4361

Les pierres calcaires les plus pures en apparence contiennent presque toujours quelques substances étrangères, telles que des carbonates de magnésie, de fer et de manganèse, du quarz et de l'argile : il faut donc essayer celles dont on peut disposer, afin de pouvoir choisir la plus pure et rechercher la proportion exacte de chaux et d'autres corps fixes que renferme celle dont on devra faire usage. Le marbre blanc saccharoïde, les calcaires d'eau douce bien sonores, et le *blanc d'Espagne*, ne renferment ordinairement point d'autres matières étrangères qu'une très petite quantité de magnésie, de quarz et d'argile; le marbre et le calcaire d'eau douce sont préférables au *blanc d'Espagne*, parce qu'ils ont plus de densité. Choix.

Magnésie. — La *magnésie* est une terre alcaline comme la chaux. C'est une poudre blanche, extrêmement légère, Propriétés.

douce au toucher, élastique et insipide. Elle verdit le sirop de violette. Elle est infusible et fixe, et irréductible par le charbon. Elle n'absorbe pas l'eau comme le fait la chaux, mais l'eau f. en dissout environ un six-millième de son poids, et l'eau b. six fois moins. Le chlore en chasse l'oxigène à la chaleur rouge, mais elle n'est réduite ni par le phosphore ni par le soufre. Elle expulse l'ammoniaque de plusieurs de ses combinaisons, mais elle est également en partie précipitée de ses dissolutions par cet alcali. Elle se combine facilement avec tous les acides; elle attire même l'acide carbonique de l'air, mais beaucoup moins rapidement que la chaux. Elle est composée de :

Composition.

Magnésium.....	0,6129	— 100	$\dot{M}g$
Oxigène.....	0,3871	— 63,16	

Son atome pèse 258,353.

Préparation. Il est facile de se procurer de la magnésie bien caustique en calcinant au blanc la magnésie que l'on trouve chez les pharmaciens. On l'emploie peu dans les essais, parce qu'elle est trop légère et qu'elle occupe un très grand volume; mais on peut amener la magnésie à un état de densité sept à huit fois aussi considérable que celle qui résulte de la calcination du carbonate du commerce, en dissolvant ce carbonate dans l'acide nitrique et calcinant le nitrate à la chaleur blanche; ou encore en chauffant à cette température un mélange de 1 atome de sulfate de magnésie et de 1 atome de carbonate de soude, et lavant le résidu à grande eau; mais ces préparations sont un peu longues, et c'est à cause de cela que l'on emploie presque toujours l'alumine de préférence à la magnésie.

Propriétés. *Alumine.* — L'*alumine* est un oxide de la classe des terres; cette terre est blanche, pulvérulente, excessivement dure : sa densité est au moins de 2,00; celle de l'alumine qu'on trouve à l'état natif est de 3,90. Elle est infusible et inaltérable par la chaleur. Elle n'absorbe pas l'eau, et elle est insoluble dans ce liquide; mais à l'état naissant, elle forme des hydrates qui contiennent au moins le tiers de leur poids d'eau.

L'alumine calcinée n'est que très difficilement attaquable par les acides les plus forts; cependant elle se dissout dans l'acide sulfurique concentré. L'hydrate humide se dissout dans presque tous les acides, mais il ne se combine pas avec l'acide carbonique. Cet hydrate se dissout facilement aussi dans la potasse et dans la soude caustiques, et en petite quantité dans l'ammoniaque, et il peut former des combinaisons insolubles avec toutes les bases, par double décomposition. L'alumine calcinée ne se combine avec les alcalis fixes que par la *voie sèche*. L'alumine joue en général le rôle de base faible, mais quelquefois elle remplit aussi celui d'acide faible. Au contact du charbon, elle produit avec le chlore un chlorure volatil. Elle est composée de: Composition.

Aluminium.....	0,5329	—	100	At
Oxigène.....	0,4671	—	87,61	

Son atome pèse 642,334.

L'alumine est moins fondante que la magnésie, mais elle peut très bien la remplacer et elle est d'un usage plus commode. Voici le meilleur moyen de préparer cette terre pour les essais. On prend une argile plastique bien blanche, ou, ce qui vaut beaucoup mieux quand on peut s'en procurer, du kaolin séparé du sable qu'il peut contenir, par lavage et décantation; on en fait une pâte épaisse avec de l'acide sulfurique concentré; on introduit cette pâte dans un creuset de terre et l'on chauffe à une chaleur sombre et modérée, jusqu'à dessiccation et tant qu'il se dégage des vapeurs d'acide sulfurique avec abondance. On retire la matière du creuset, on la broie, on la fait bouillir avec de l'eau, et l'on filtre : la liqueur tient en dissolution une grande quantité de sulfate d'alumine; on l'évapore à siccité, et en calcinant par petites portions le résidu à la chaleur blanche, tout l'acide sulfurique est chassé, et il reste de l'alumine blanche et pulvérulente. Quand on se sert de kaolin, l'alumine ne contient pas d'autres substances étrangères que de la magnésie, dont la proportion est de moins de un centième; mais quand on emploie une argile plastique, il peut arriver que la proportion de Usage. Préparation.

la magnésie soit plus grande, et qu'il y ait en même temps un peu d'oxide de fer. On évite la présence du fer, du moins en quantité notable, en faisant digérer l'argile pendant quelque temps dans de l'acide muriatique concentré, avant de la traiter par l'acide sulfurique.

Aluminates alcalins.

L'alumine se combine avec les alcalis caustiques à la chaleur rouge, mais elle ne forme point de combinaison fusible avec ces bases. Quand on chauffe à 150° un aluminate alcalin, la plus grande partie de l'alcali se volatilise. Nous avons chauffé à cette température, dans un creuset brasqué, un aluminate de potasse qui avait été préparé avec parties égales d'alumine pure et de potasse à l'alcool dans un creuset d'argent, et nous avons obtenu une masse terreuse, faiblement agglomérée, se réduisant en poudre sous le choc, et qui ne contenait plus que 0,09 d'alcali.

Aluminates magnésio-calcaire.

La chaux, la magnésie et l'alumine combinées deux à deux en telle proportion que ce soit, ne peuvent former aucune combinaison fusible ni même ramollisable; le plus souvent le mélange reste pulvérulent. Mais ces trois terres ensemble produisent des composés, qui la plupart se ramollissent à une haute température, et dont quelques-uns sont fusibles en verres transparens : on doit qualifier ces composés d'aluminates doubles.

Selon Achard, on obtient une porcelaine plus ou moins poreuse avec

Alumine.	Chaux.	Magnésie.
0,50	0,33	0,17
0,50	0,17	0,33
0,43	0,17	0,43
0,37	0,26	0,37
0,44	0,28	0,28

et les mélanges dans lesquels la chaux ou la magnésie domine, sont infusibles.

Nous avons essayé les aluminates suivans :

	C^2MA	CMA	C^2MA^4	$C^4M^3A^9$	CMA^3
Alumine...	0,199	0,275	0,499	0,470	0,535
Chaux.....	0,565	0,393	0,353	0,338	0,255
Magnésie...	0,236	0,332	0,148	0,192	0,210

Ils ont donné :

Le premier C^2MA (S.) une masse grenue, matte, fendillée, très légère, et s'égrenant entre les doigts : elle avait peu diminué de volume ;

Le deuxième CMA (S.) une masse grenue et matte, assez consistante, mais s'égrenant sous l'ongle : elle s'était considérablement contractée ;

Le troisième C^2MA^4 (g. f.) un culot bien fondu, bulleux, d'un vert-olive pâle, fortement translucide, à cassure unie, luisante et cireuse, et ne présentant aucun indice de cristallisation : il ressemblait à un pétrosilex bien pur ;

Le quatrième $C^4M^3A^9$ (g. f.) un culot bien arrondi, compacte, pierreux, à cassure inégale légèrement luisante, transparent dans quelques parties ;

Et le dernier CMA^3 (S.) une masse grenue et poreuse : l'intérieur des pores était arrondi, ce qui prouve qu'il y a eu ramollissement.

ARTICLE III. — *Silicates de chaux et d'alumine.*

Usages. Il est commode d'avoir trois silicates de chaux contenant des proportions différentes de chacun de leurs élémens : l'un dans lequel la silice domine, pour ajouter aux matières calcaires ; le deuxième dans lequel la chaux domine, pour ajouter aux matières siliceuses ; le troisième formant la combinaison la plus fusible, pour ajouter aux substances métalliques que l'on veut réduire, et qui ne sont presque pas mélangées de gangue.

Préparation. On prépare commodément ces silicates au moyen d'une argile dont la composition soit connue, et qui ne contienne pas de fer : du kaolin par exemple, ou le résidu du kaolin que l'on a traité par les acides pour en extraire de l'alumine ; on ajoute à cette argile du carbonate de chaux et du quarz en poudre dans les proportions convenables ; on fait fondre dans un creuset brasqué, soit au four à porcelaine, soit au grand fourneau à vent, et l'on réduit la matière en poudre fine pour l'usage.

Composition. Les trois silicates peuvent avoir la composition suivante :

	C^6AS^3		CAS^6		CAS^4
Silice.....	0,385	—	0,677	—	0,582
Chaux.....	0,473	—	0,202	—	0,261
Alumine.....	0,142	—	0,121	—	0,157

ARTICLE IV. — *Verres.*

On peut partager en trois espèces les verres non plombeux dont on fait usage dans les arts, savoir : 1°. les *verres blancs*, 2°. les *verres à pivette*, et 3°. les *verres à bouteille.*

Verres blancs. — Voici la composition de sept verres de cette espèce :

	Nemours (1)	Bohème. (2)	Venise. (3)	Tubes. (4)	Tubes. (5)	Saint-Gobain. (6)	Crown-glass. (7)
Silice.....	0,720	0,717	0,686	0,734	0,692	0,735	0,628
Chaux.....	0,064	0,103	0,110	0,042	0,076	0,060	0,125
Potasse.....	.....	0,127	0,069	0,172	0,158	.....	0,221
Soude.....	0,170	0,025	0,081	.....	0,030	0,170	.....
Magnésie. ...	.....	.....	0,021	.....	0,020	.....	.....
Alumine.....	0,026	0,004	0,012	0,015	0,012	0,025	0,026
Oxide de fer..	0,011	0,003	0,002	0,010	0,005	0,010	.....
Oxide de manganèse.....	.....	0,002	0,001	0,010	.....	.....	.....
— de plomb.	.....	.....	.....	0,010	.....	.....	.....
	0,991	0,981	0,982	0,993	0,991	1,000	1,000

(1) *Verre blanc de Bagneaux*, près de Nemours (département de Seine-et-Marne). Il est très blanc : on en fait des bocaux pour pendules, etc. Il contient une trace d'oxide de cuivre qui provient probablement des outils. Sa composition est telle que la silice renferme à peu près cinq fois autant d'oxigène que toutes les bases réunies.

(2) *Verre blanc de Neuvelt* en Bohème. On le débite en gobeleterie. Il est de la plus grande beauté, d'une limpidité parfaite et incolore, même en masses assez grandes, et il est fabriqué avec un tel soin, qu'il

ne présente presque aucune bulle. Selon M. Perdonnet, on le prépare avec un mélange de 100 de quarz, 50 de chaux caustique, 75 de carbonate de potasse, et d'une très petite quantité de nitre, d'acide arsénieux et de peroxide de manganèse. On ne peut pas y découvrir la présence de l'arsenic par l'analyse. La silice contient six fois autant d'oxigène que les bases, et la composition du verre est à très peu près exactement représentée par la formule $CS^6 + (K, N) S^6$.

(3) *Verre blanc de Venise.* Ce verre provient d'anciennes glaces. Les opticiens s'en servent pour les instrumens d'optique, et prétendent qu'il est préférable au verre de Saint-Gobain, parce qu'il attire moins l'humidité. Vu sur la tranche, il a une légère teinte enfumée sans nuance de vert ni de bleu. La silice contient à peu près quatre fois autant d'oxigène que les bases.

(4) *Verre blanc* tiré en tubes pleins, dits *baguettes à agiter.* L'oxide de plomb provient sans doute d'une petite quantité de cristal jeté dans les pots avec le *groisil.*

(5) *Verre blanc* dont se servent les émailleurs pour faire les petits instrumens de chimie, les perles, etc. Il est beaucoup plus fusible que le verre blanc ordinaire : aussi contient-il notablement plus d'alcali. L'oxigène de la silice est à l'oxigène des bases dans le rapport de un peu plus de 5 à 1.

(6) *Verre à glace* de Saint-Gobain. On le prépare avec un mélange de sable blanc, de carbonate de soude et de chaux caustique. Il contient une trace d'oxide de cuivre, qui provient des cuillères et des spatules, et qui lui donne souvent une teinte bleue très prononcée. Autrefois on exigeait dans le commerce que la teinte fût légèrement verte; maintenant on demande qu'elle soit légèrement jaune.

(7) *Crown-glass* de fabrication allemande, employé par M. Cauchois, et analysé par M. Dumas. Sa composition est exprimée par la formule KCS^4.

Il résulte des analyses précédentes, que les verres Remarques.

blancs sont des silicates qui contiennent au moins deux bases, la chaux et un alcali. L'alcali peut être de la potasse ou de la soude, ou un mélange de l'une et de l'autre. La fusibilité de ces verres dépend des proportions relatives des trois élémens dont ils se composent; elle est d'autant plus grande que la proportion de silice est moins forte, et pour une même quantité de silice elle s'accroît avec la proportion de l'alcali; la dureté dépend principalement de la proportion de la silice, et augmente avec cette proportion. Les plus fusibles sont aussi ceux qui se laissent le plus aisément attaquer par les acides, et par conséquent ceux qui s'altèrent le plus par une longue exposition à l'air. On pourrait obtenir des verres très durs, très beaux, et de tel degré de fusibilité que l'on voudrait, avec de la silice et un alcali seulement; mais ils auraient peu de ténacité et d'élasticité; la présence de la chaux est nécessaire pour leur donner ces qualités. Il est très probable que d'autres bases, telles que la baryte et la magnésie, auraient le même effet; mais comme la chaux est commune et à bas prix, il est naturel qu'on l'ait employée partout. Là où le combustible est très cher, les fabricans ont intérêt à faire du verre très fusible, et par conséquent à employer beaucoup d'alcali; mais ces sortes de verres sont de mauvaise qualité, et finissent par se couvrir d'efflorescences à l'air. Dans les lieux où, au contraire, le combustible est à vil prix, on économise l'alcali et l'on fabrique des verres excellens.

Verres fusibles et durs.

Comme les silicates multiples ont une fusibilité qui est toujours plus grande que la fusibilité moyenne des silicates qu'ils renferment, il est évident qu'il y aurait de l'avantage à employer dans la fabrication des verres un mélange de carbonate de potasse et de carbonate de soude, au lieu de se servir de l'un ou de l'autre seulement, comme cela se fait presque toujours. De cette manière, avec une même quantité pondérale de matières alcalines, on obtiendrait des verres plus fusibles, et qui par conséquent consommeraient moins de combustible

qu'en employant la potasse ou la soude isolément, et ces verres seraient cependant aussi durs et aussi inaltérables, puisqu'ils ne renfermeraient pas une plus grande proportion de bases.

Verres à pivette. — On appelle ainsi les verres communs, d'un vert pâle d'aigues marines, dont on fait des fioles à médecine et toute la verrerie commune. Ces verres sont durs, solides, et ils ont la propriété très précieuse *d'aller sur le feu* beaucoup mieux que les verres blancs. Voici la composition de quatre sortes de verres à pivette pris dans le commerce et façonnés en instrumens de chimie.

	(1)	(2)	(3)	(4)
Silice	0,716	0,692	0,635	0,620
Chaux	0,100	0,130	0,162	0,156
Potasse	0,106	0,080	0,105	.....
Soude	.....	0,030	.....	0,164
Magnésie	.....	0,006	.....	0,022
Alumine	0,030	0,036	0,045	0,024
Oxide de fer	0,015	0,016	0,025	0,007
Oxide de manganèse	0,003	.....	0,012	.....
	0,970	0,990	0,984	0,993

Remarques.

La quantité d'oxigène de la silice est à la quantité d'oxigène de toutes les bases : : 6 : 1 dans le verre (1), : : 5 : 1 dans le verre (2), : : 7 : 2 dans le verre (3) et : : un peu plus de 3 : 1 dans le verre (4). La composition de ces verres est donc extrêmement variable; c'est à la présence d'une plus forte proportion de chaux que celle qui existe dans le verre blanc, qu'ils doivent leurs qualités. Leur teinte verte n'est pas essentielle, et tient à ce que l'on emploie pour les fabriquer des sables communs un peu ferrugineux et argileux.

Verres à bouteilles. — Cinq verres à bouteilles réputés d'excellente qualité ont été trouvés composés comme il suit :

	Souvigny (1)	Saint-Étienne. (2)	Épinac. (3)	Sèvres. (4)	(5)
Silice	0,600	0,604	0,596	0,536	0,456
Chaux	0,223	0,207	0,180	0,292	0,281
Baryte	.....	0,009	....	.....	.....
Potasse / Soude	0,031	0,032	0,032	0,055	0,061
Magnésie	.....	0,006	0,070	.....	.....
Alumine	0,080	0,104	0,068	0,060	0,140
Oxide de fer	0,040	0,038	0,044	0,057	0,062
Oxide de manganèse	0,012	.....	0,004	.....	.....
Oxide de cuivre	.....	.....	.....	.....	.....
Acide phosphorique	0,004	.....	.....	.....	.....
	0,990	1,000	0,994	1,000	1,000

(1) *Verre de Souvigny*, près de Moulins (département de l'Allier). Les bouteilles que l'on fabrique avec ce verre passent pour être d'excellente qualité, et on les recherche beaucoup à Paris. Il entre dans sa préparation du sable que l'on retire de la rivière d'Allier, de la marne blanche provenant d'un terrain de calcaire d'eau douce, des cendres lessivées, et un peu de sel marin. L'acide phosphorique provient évidemment des cendres, qui contiennent toujours une certaine quantité de phosphate de chaux. Dans ce verre l'oxigène de la silice est à l'oxigène des bases : : 5 : 2.

Avec sulfate de baryte.

(2) *Verre de Saint-Étienne* (département de la Loire), pour la préparation duquel on emploie du sulfate de baryte. L'analyse, faite avec le plus grand soin, n'ayant donné qu'une très faible proportion de baryte, il faut que dans l'opération qui a produit l'échantillon qu'on nous a remis, on n'ait employé que très peu de sulfate, ou bien que la plus grande partie de ce sel se soit précipitée au fond des pots, à la faveur de sa grande densité, avant d'avoir été décomposé. La baryte peut donner de la fusibilité aux silicates; et, sous ce rapport, elle est propre jusqu'à un certain point à remplacer les alcalis; mais comme ceux-ci n'entrent que pour une très faible proportion dans les verres à bouteilles, et

qu'ils sont fournis pour la plus grande partie par la *charée* (cendres lessivées) sans dépense, il ne paraît pas qu'on puisse tirer un grand avantage de l'emploi du sulfate de baryte dans la fabrication des bouteilles : aussi dit-on que l'on y a renoncé à Saint-Étienne. Quoi qu'il en soit, toutes les fois que l'on voudra en faire usage, il conviendra de le mélanger avec une quantité de charbon calculée pour changer l'acide sulfurique en acide sulfureux ; on facilitera beaucoup ainsi la combinaison de la baryte avec la silice. Dans le verre de Saint-Étienne l'oxigène de la silice est à l'oxigène des bases : : 5 : 2.

(3) *Verre d'Épinac*, près d'Autun (département de Saône-et-Loire). On fabrique ce verre avec deux sables que l'on ramasse près de l'établissement, et sans mélange de cendres lessivées ni d'aucune autre matière. L'un de ces sables est calcaire, et se compose de :

Chaux.....	0,348	ou carbonate de chaux.	0,617
Magnésie.....	0,172	—— de magnésie..	0,356
Acide carbonique...	0,453	argile.....	0,012
Argile.....	0,012		0,985
	0,985		

L'autre sable est un mélange de très petits grains de quarz et de feld-spath enduits d'une légère couche d'oxide de fer ; il contient :

Silice.....	0,800	0,997
Alumine.....	0,110	
Potasse.....	0,060	
Oxide de fer.....	0,020	
Oxide de manganèse.	0,007	

Dans le verre d'Épinac la quantité d'oxigène de la silice est à la quantité d'oxigène des bases dans le rapport d'un peu moins de 5 à 2, ainsi que dans les deux verres précédens.

La formule $(C, M, K, N)\,S^3 + (A, f,)\,S^2$ représente très approximativement la composition de ces trois verres ; mais il ne faut pas attacher à ces formules plus d'importance qu'elles n'en ont réellement.

(4) *Verre de Sèvres.* — (M. Dumas.) Il ne se dévitrifie que difficilement. Il se compose de bisilicates.

(5) *Verre* de localité inconnue. (M. Dumas.) Il se dévitrifie très facilement, et offre alors une cassure cristalline soyeuse. Il y a dans la silice qu'il contient moins de deux fois autant d'oxigène que dans les bases.

Dans les verres à bouteilles le fer n'est ni à l'état de protoxide ni à l'état de peroxide, mais à un degré intermédiaire d'oxidation; on l'amène à ce degré par un tour de main qui consiste le plus souvent à agiter le verre fondu avec du bois vert; on arrive ainsi à obtenir la nuance de couleur que les consommateurs exigent. Peut-être les matières fuligineuses contribuent-elles à produire cette nuance.

Remarque. Les verres à bouteilles sont beaucoup plus difficiles à fondre que les autres verres, parce qu'ils contiennent une grande proportion d'alumine et très peu d'alcali. Les moins fusibles sont les meilleurs. On en fabrique à Paris, par exemple, qui contiennent moins de silice et beaucoup plus de chaux que ceux dont nous avons donné la composition; mais ces verres ont l'inconvénient d'être attaquables à la longue par le vinaigre.

ARTICLE V. — *Acide borique.*

§ 1er. — Caractères et propriétés.

Caractères. — L'*acide borique* cristallise en écailles hexaèdres nacrées, inaltérables à l'air; il a une saveur faible, aigre et amère, puis douceâtre et assez agréable; il rougit faiblement le tournesol; il est sans action sur la violette, et il agit sur l'hématite comme un alcali : sa pesanteur spécifique est de 1,479.

Propriétés. — Chauffé à une température peu élevée, il se fond en abandonnant la moitié de l'eau qu'il contient; à une chaleur plus forte il devient tout-à-fait anhydre, et se prend par refroidissement en un verre transparent dont la pesanteur spécifique est de 1,83; à la cha-

leur rouge il s'en volatilise une quantité notable, quoique peu considérable; mais à la température d'un essai de fer, dans un creuset brasqué de charbon, il se volatilise à peu près complètement. L'acide anhydre attire peu à peu l'humidité de l'air et perd sa transparence, mais sans tomber en déliquescence.

L'acide borique cristallisé se dissout dans 35 parties d'eau f. et dans 3 parties d'eau b.; il est soluble dans 5 parties d'alcool. Lorsqu'on fait bouillir ses dissolutions aqueuses et alcooliques, les vapeurs entraînent une quantité notable d'acide, et l'alcool acquiert la propriété de brûler avec une flamme d'un beau vert. L'acide borique se dissout aussi dans les huiles.

A la chaleur rouge le gaz hydrogène le réduit en partie. Le charbon en réduit aussi une petite quantité à une haute température, lorsqu'il y a présence de certains métaux, tels que le fer et le platine, avec lesquels le bore puisse se combiner. Le potassium le réduit complètement.

Tous les acides augmentent la solubilité de l'acide borique dans l'eau. Il se combine avec toutes les bases, mais ses affinités sont faibles à la température ordinaire; au contraire il décompose un grand nombre de sels à la chaleur rouge, à la faveur de sa fixité.

L'acide anhydre contient : Composition.

Bore	0,3122	—	100	B
Oxigène...	0,6878	—	220,3	

Son atome pèse 872,409.

L'acide cristallisé contient 0,436, ou 6 atomes d'eau. Son atome pèse 1472,409. L'acide calciné ne retient que 0,279 d'eau, qui y joue le rôle de base.

Préparation. — Autrefois on se procurait l'acide borique en décomposant le borax par l'acide sulfurique; mais on l'extrait actuellement de l'eau de plusieurs solfatares d'Italie, dans lesquels il se trouve tout-à-fait pur. Pour l'usage de la *voie sèche* il convient de se servir d'acide borique fondu et pulvérisé, en ayant soin de le conserver dans des flacons bien bouchés.

Fusibilité des borates. — L'acide borique a la propriété de former avec la silice et avec toutes les bases des combinaisons très fusibles; c'est donc un fondant très actif et presque universel. Cependant, comme il est très volatil, et que ses affinités sont faibles, et qu'à cause de cela il arrive souvent qu'il se sublime pour la plus grande partie avant qu'il ait eu le temps de se combiner avec les substances qu'il est destiné à faire fondre, à moins qu'on ne l'emploie dans une proportion considérable, on lui préfère presque toujours le borax; il y a néanmoins des cas où l'on peut en faire usage avec avantage.

Inconvéniens.

§ 2. — Borates terreux et métalliques.

Pour donner une idée des caractères et du degré de fusibilité des borates, nous allons rapporter ici le résultat des expériences que nous avons faites sur ces composés.

Baryte. — Nous avons préparé un borate de baryte avec

Carbonate de baryte natif.....	80^g,0
Acide borique cristallisé.....	27,2

Nous avons eu (g. f.) un culot très bien fondu, d'un vert-olive clair, à cassure grenue cristalline, caverneux au centre, et contenant beaucoup de cristaux prismatiques limpides dans la cavité. Ce borate devait contenir tout au plus 0,19 d'acide anhydre.

Chaux. — Nous avons chauffé ensemble du marbre blanc et de l'acide borique en deux proportions, comme il suit :

Marbre blanc.....	30^g,0	—	30^g,0
Acide borique.....	12,1	—	24,2

Nous avons obtenu (g. f.) avec le premier mélange un culot pesant 23^g, scoriforme, blanc, opaque, grenu à grains cristallins, friable, ayant l'aspect d'un choufleur : il n'y a pas eu de volatilisation. Le borate devait contenir :

Chaux.....	0,71	CB
Acide borique....	0,29	

Avec le second mélange un culot parfaitement fondu,

sans bulles, blanc, translucide, lamelleux à très grandes lames. Il devait contenir environ :

Chaux.....	0,56	CB^2
Acide borique....	0,44	

Magnésie. — Un borate de magnésie, pour lequel on a employé :

Magnésie calcinée.....	10^g,33	— 12^{at}
Acide borique.....	4,90	— 1

s'est fondu (g. f.) en un culot bulleux, incolore, translucide, à cassure cristalline, et offrant dans toutes les cavités des cristaux prismatiques limpides. Ce culot pesait 13^g,10; d'où il suit que la volatilisation a été presque nulle. Le borate devait donc contenir :

Magnésie.....	0,781	M^3B
Acide borique.....	0,219	

La même expérience, répétée dans le fourneau de Sèvres, a donné une masse composée de grands cristaux entrelacés, incolores et transparens, et dont quelques-uns se présentaient sous forme de prismes aplatis très nets.

En employant :

Magnésie.....	11^g,6	— 18^{at}
Acide borique cristallisé.....	3,7	— 1

on a eu un borate M^3B contenant 0,16 d'acide borique, qui s'est fondu en une masse homogène un peu bulleuse, ayant l'aspect de la porcelaine.

Alumine. — Deux borates d'alumine préparés avec

Alumine.	10^g,0	— 12^g. 6^{at}
Acide borique.	10,0	— 4,9. 1

ont donné (S.) :

Le premier un culot bien fondu, bulleux, opaque, à cassure conchoïde unie et luisante, d'un gris foncé presque noir.

Le second un culot pesant 14^g,8, bien fondu, rempli de petites bulles, dur et tenace, à cassure conchoïde luisante, opaque, et d'un gris de perle foncé : il y a eu volatilisation assez notable, et le borate devait contenir :

Alumine.....	0,868
Acide borique.....	0,132

Silice :

15^{g} sable quarzeux
15 acide borique cristallisé

ont donné (g. f.) un culot vitreux, extrêmement bulleux et boursouflé, incolore, transparent, et pesant 21 grammes. Le couvercle et l'intérieur du creuset étaient vernissés par l'acide qui s'est volatilisé. D'après la perte de poids, le borate de silice devait contenir :

Silice..... 0,714
Acide borique..... 0,286

23^{g},20 sable quarzeux..... 4^{at}
7 ,36 acide borique cristallisé. 1

ont donné un culot vitreux, transparent, de couleur enfumée pâle, homogène, mais pénétré d'une multitude de très petites bulles : il a dû y avoir fusion, mais non liquéfaction complète. Le borate devait contenir :

Silice..... 0,84 $Si^{4}B$
Acide borique. ... 0,16

On voit qu'il faut très peu d'acide borique pour faire fondre la silice.

Argile. — Les argiles fondent très bien avec les 0,4 de leur poids d'acide borique cristallisé, ou avec le quart de leur poids d'acide anhydre.

Titane :

20^{g} oxide de titane de Limoges
20 acide borique cristallisé

chauffés dans un creuset brasqué (g. f.), ont produit un culot pesant 28^{g},62, noir métalloïde, opaque, caverneux à la partie supérieure et ressemblant à une scorie de forge; il devait contenir le titane à l'état de protoxide. Il s'est volatilisé dans l'opération à peu près le cinquième de l'acide borique employé.

Manganèse :

45^{g},58 protoxide de manganèse..... 6^{at}
12 ,88 acide borique..... 1

ont donné (g. f.) un culot pesant 52^{g},2 , parfaitement fondu, dur et tenace, d'un gris verdâtre, opaque, à cassure iné-

gale, grenue et cristalline ; il y avait dans les cavités beaucoup de très petits cristaux éclatans et d'un beau vert ; il ne s'est pas réduit la plus petite quantité d'oxide de manganèse, mais il s'est volatilisé une quantité notable d'acide borique.

La même expérience, faite dans le fourneau de Sèvres, a produit un culot pierreux, d'un beau vert, grenu et cristallin à la partie inférieure, et formé à la partie supérieure d'un amas de prismes transparens nacrés, très éclatans, la plupart incolores, quelques-uns d'un beau rose, et d'autres d'un très beau vert ; on voyait à la surface du culot un groupe de cristaux roses, en tables hexaèdres aplaties, d'un demi-centimètre de largeur. S'il n'y avait pas eu volatilisation, le borate aurait contenu :

Protoxide de manganèse.....	0,861
Acide borique.....	0,138
9^{g},78 oxide rouge de manganèse..	1^{at}
15,46 acide borique.....	3

chauffés dans un creuset nu (p. f.), se sont fondus promptement et ont acquis la liquidité de l'eau ; mais la fusion a été suivie d'un boursouflement excessif qui a soulevé la matière par-dessus les bords du creuset. Le borate était compacte, vitreux, à cassure conchoïde luisante, d'un beau noir vu en masse, mais d'un beau brun violacé dans les éclats minces.

Fer :

9^{g},11 battitures de fer.....	1^{at}
15,46 acide borique.....	3

chauffés dans un creuset nu (p. f.), se sont fondus tranquillement et sans boursouflement, et ont pris une bonne liquidité pâteuse ; la matière était un peu bulleuse, à cassure inégale, çà et là conchoïde, noire, opaque, magnétique, et semblable pour l'aspect à une scorie de forge ; elle devait être composée de :

Oxide de fer.....	0,545
Acide borique.....	0,454
9^{g},78 peroxide de fer....	1^{at}
15,46 acide borique.....	1.

ne se sont pas fondus complètement (p. f.) : la matière est restée pâteuse ; elle était bulleuse, noire, opaque et un peu magnétique. Pendant l'opération une partie de l'oxide de fer a dû être ramenée à l'état de protoxide.

Cuivre :

1^{g},83 protoxide de cuivre. 1^{at}
29 ,44 acide borique..... 1

se sont fondus très facilement (p. f.) et sont devenus très fluides. La matière était compacte, très dure et très tenace, à cassure inégale un peu luisante, opaque et d'un rouge de cinabre. Elle devait être composée de :

Protoxide de cuivre..... 0,507
Acide borique..... 0,493 CB^{6}

9^{g},91 deutoxide de cuivre.... 2^{at}
14 ,72 acide borique..... 1

se sont facilement fondus (p. f.) sans aucun boursouflement. On a eu un culot tenace, d'un rouge-brun taché de bleu et opaque ; il présentait dans les cavités des cristaux prismatiques brillans, les uns rouges et les autres du plus beau bleu ; une partie de l'oxide de cuivre a dû être ramenée au *minimum* pendant l'opération.

Plomb. — Les borates de plomb sont tous extrêmement fusibles ; mais quand ils contiennent une proportion d'acide borique qui dépasse un certain terme, ils se boursouflent extraordinairement.

Nous avons essayé les trois mélanges suivans de litharge et d'acide borique cristallisé (p. f.) :

Litharge.....	111^{g},6. 3^{at}	— 37^{g},2. 1^{at}	— 37^{g},2. 1^{at}
Acide borique...	39,3. 1	— 39,3. 1	— 78,6. 2

Le premier PB^{3} s'est fondu avec une légère fumée qui provenait de quelques vapeurs d'acide borique, mais sans boursouflement. La matière est devenue extrêmement liquide ; elle formait un verre homogène, transparent et d'un beau jaune de miel. Ce verre devait contenir à peu près :

Oxide de plomb..... 0,828
Acide borique..... 0,172

Le second mélange PB^6 s'est fondu avec bouillonnement accompagné de fumée, mais sans boursouflement. La matière est devenue très liquide : elle formait un verre transparent, très éclatant et d'un beau jaune de soufre, qui devait contenir environ :

Oxide de plomb.....	0,615
Acide borique.....	0,385

Le troisième PB^{12} s'est fondu d'abord assez tranquillement et en exhalant une fumée épaisse, mais il s'est gonflé considérablement, et il a passé par-dessus les bords du creuset. Il formait un verre extrêmement bulleux à très petites bulles, transparent et absolument incolore, qui devait être composé d'environ :

Oxide de plomb.....	0,389
Acide borique.....	0,611

ARTICLE VI. — *Borax, borate de soude.*

§ 1er. — Caractères, propriétés.

Manière d'agir. — Le borax est un fondant excellent et à peu près universel, parce qu'il a la propriété de pouvoir former des combinaisons très fusibles tant avec la silice qu'avec les bases, comme l'acide borique ; mais il est préférable à cet acide, parce qu'il est beaucoup moins volatil. Cependant le borax n'est pas fixe ; il se volatilise en quantité très notable à une température élevée, et cela est un inconvénient, parce qu'il en résulte l'impossibilité de vérifier l'exactitude des essais. Le borax a encore le défaut de se boursoufler beaucoup en se fondant, lorsqu'il contient un peu d'eau ou lorsqu'il est traversé par des vapeurs quelconques.

Outre que le borax est volatil par lui-même, quand on le chauffe fortement avec des sursilicates, il s'en sépare de l'acide borique qui se volatilise ; et quand au contraire on le fond avec des silicates surbasiques, il se volatilise de la soude.

Usage. — On se sert du borax à une température moyenne et à une température élevée : dans le premier cas on l'em-

ploie soit pour essayer les matières d'or et d'argent, parce que c'est un très bon fondant pour tous les oxides métalliques; soit pour faire ce que l'on appelle une *fonte crue*, c'est-à-dire pour séparer les métaux, leurs sulfures ou leurs arséniures, des composés pierreux avec lesquels ils sont mélangés, parce que ce sel n'est ni oxidant ni désulfurant. Dans le second cas on emploie le borax pour essayer les minerais de fer, d'étain, etc.; en présence du charbon il ne retient qu'une quantité insignifiante d'oxides de ces métaux, et moindre en général que celle qui reste dans les silicates.

On trouve maintenant dans le commerce deux sortes de borax qui ne diffèrent l'un de l'autre que par la proportion d'eau de cristallisation qu'ils contiennent.

Propriétés. — Le *borax ordinaire* cristallise en pyramides à quatre ou à six pans terminées par des sommets trièdres. Sa densité est de 1,740. Il conserve sa transparence dans l'air humide : l'air sec rend sa superficie opaque; il tressaille et se clive par des changemens à 15° de température. Il a une saveur styptique et alcaline; il verdit le sirop de violette; il est très soluble dans l'eau, mais beaucoup plus à chaud qu'à froid. Il est composé de :

Soude.....	0,164
Acide borique.....	0,365
Eau.....	0,471

Le *nouveau borax* cristallise en octaèdres réguliers. Sa densité est de 1,825. Il est plus dur que le borax ordinaire; il sonne par le choc comme la fonte. Sa cassure est luisante et ondulée. Il se conserve diaphane dans l'air sec, et il devient opaque dans l'air humide. Il ne tressaille pas par changemens brusques de température. Selon M. Payen, il est composé de :

Soude.....	0,213
Acide borique.....	0,481
Eau.....	0,306

Lorsqu'on chauffe ces borax, ils se fondent l'un et l'autre dans leur eau de cristallisation, et perdent cette

eau en éprouvant un boursouflement énorme ; puis ils subissent la fusion ignée à une chaleur très peu élevée, et ils se changent en un verre transparent qui devient peu à peu opaque quand on le laisse exposé à l'air.

On ne doit se servir dans les essais que du borax fondu ou borax vitreux : on le réduit en poudre fine, et on le conserve dans des vases bien bouchés pour qu'il n'attire pas l'eau de l'atmosphère.

Composition.

Le borax vitreux est composé de :

Soude.....	0,310	—	44,83	Ṅ
Acide borique...	0,690	—	100,00	B̈

Son atome pèse 1263,30.

Bases.

Le borax peut dissoudre par *voie sèche* une quantité considérable des diverses bases, et d'autant plus grande que la chaleur à laquelle on soumet le mélange est plus élevée ; il décompose aussi les carbonates. Lorsqu'on le chauffe avec du carbonate de soude il chasse l'acide carbonique de deux atomes de ce sel, et il en résulte un nouveau borate dans lequel l'acide contient deux fois seulement autant d'oxigène que la soude.

Les expériences que nous allons décrire montreront quelle est l'action fondante du borax sur un grand nombre de substances.

§ 2. — Borates alcalins multiples.

Baryte. — Lorsqu'on chauffe à une chaleur graduée jusqu'au blanc naissant (p. f.) du carbonate de baryte avec du borax, dans la proportion de 3 atomes au plus du premier (73,92) pour 1 atome du second (25,25), le carbonate de baryte est à peu près décomposé par le borax, qui en dégage l'acide carbonique avec bouillonnement et léger boursouflement, et l'on obtient un borate double, bien fluide, compacte, à cassure fibreuse, cristalline, translucide et d'un jaune de miel. Ce borate doit être composé de :

Soude.....	0,0855	—	1 at
Baryte.....	0,6282	—	3
Acide borique..	0,2863	—	1

Il a la réaction fortement alcaline, et il est soluble en totalité dans l'eau.

Chaux. — Quand on chauffe de la même manière (p. f.) 3 atomes au plus de carbonate de chaux (37,86) avec 1 atome de borax (25,25), le carbonate de chaux se décompose peu à peu sans occasioner de boursouflement, et le mélange se fond en pâte liquide. Le composé est compacte, à cassure très écailleuse et grenue, à grains fins et cristallins, d'un gris clair, et opaque. Il doit contenir :

Soude.....	0,168	—	1^{at}
Chaux.....	0,458	—	3
Acide borique.....	0,374	—	1

A une température élevée, le borax peut dissoudre une beaucoup plus grande quantité de chaux. Nous avons chauffé (g. f.) dans des creusets brasqués les deux mélanges suivans :

Marbre blanc.....	31^{g},56.	5^{at}	—	69,43. 11^{at}
Borax fondu.....	12,63.	1	—	12,63. 1

Ils ont donné :

Le premier un culot parfaitement fondu, vitreux, transparent et d'un gris de silex;

Le second un culot faiblement aggloméré, rempli de très petits pores, s'égrenant sous l'ongle, d'un blanc mat et opaque. Dans l'opération il s'est volatilisé du borax, et il s'en est infiltré une certaine quantité dans la brasque. En employant de la chaux caustique au lieu de carbonate on obtient un culot compacte, sans bulles, grenu, et présentant quelques petits cristaux sur la surface. Ce borate doit contenir à peu près :

Soude.....	0,075	
Chaux.....	0,715	$NC^{11}B^{6}$
Acide borique...	0,170	

Magnésie. — A la chaleur de 50 à 60° p., le borax ne peut faire fondre que 2 à 3 parties de magnésie ou d'alumine; mais dans le grand fourneau il forme des composés fusibles avec des quantités plus que doubles de ces terres.

	NM^6B^6		$NM^{11}B^6$	
Magnésie.....	15,50. 6^{at}	—	28,41	— 11^{at}
Borax fondu.....	12,63. 1	—	12,63	— 1

ont donné :

Le premier un culot extrêmement cristallin et renfermant même des cristaux déterminables en prismes aplatis, incolores, transparens et très éclatans;

Le second un culot compacte, sans bulles, faiblement translucide, à cassure cireuse ou lamelleuse, et qui devait contenir environ :

Soude.....	0,092	—	1^{at}
Magnésie.....	0,691	—	11
Acide borique	0,217	—	1

Alumine :

23^g,55 alumine pure...	11^{at}	$NA^{11}B^6$
12,63 borax fondu...	3	

ont donné un culot bien fondu, compacte, sans bulles, transparent dans les éclats minces, et d'un gris de fumée.

Silice. — Nous avons mélangé de la silice et du borax fondu en trois proportions, savoir :

Sable quarzeux.	11^g,54.	1^{at}	—	34^g,63.	6^{at}	—	69^g,26. 12^{at}
Borax fondu...	25,25.	1	—	12,63.	1	—	12,63. 1

Le premier mélange, chauffé dans un creuset nu (p. f.), est devenu pâteux à la chaleur rouge, et s'est bien fondu à la chaleur blanche, sans bouillonnement ni boursouflement, et il s'est transformé en un verre compacte, sans bulles, transparent et d'un beau jaune de topaze.

Le deuxième mélange, chauffé dans un creuset brasqué (S.), a donné un culot pesant 44^g,86; d'où il suit qu'il s'est volatilisé 2^g,40 de brax ou d'acide borique. Ce culot était compacte, vitreux, transparent et d'un jaune de topaze.

Le troisième mélange, chauffé comme le précédent, a donné un culot pesant 80^g,09; la volatilisation n'a donc été que de 0^g,90. Ce culot était bulleux, à cassure inégale, d'une dureté et d'une tenacité extrêmes, d'un blanc mat, et opaque.

Argiles. — Les argiles plastiques se fondent bien avec deux fois leur poids de borax à la chaleur blanche, et

produisent des verres transparens. A la température du grand fourneau, elles se fondent toutes avec le tiers de leur poids de borax, et la plupart n'en exigent que le quart ou même le cinquième : elles produisent toujours des verres transparens ou fortement translucides, d'un gris de silex plus ou moins foncé. Dans l'opération il y a presque toujours une certaine quantité de borax qui se volatilise ou qui s'infiltre dans la brasque.

10^{g} argile plastique
10 borax

ont donné (g. f.) un culot pesant 18 grammes.

10^{g} argile plastique
3 borax fondu

ont donné un culot pesant 12 grammes.

10^{g} argile plastique
2 borax

se sont fondus (g. f.) en un verre compacte, çà et là bulleux, transparent et d'un jaune de miel.

Phosphate de chaux. — Pour fondre le phosphate de chaux des os à la chaleur blanche, il faut employer trois à quatre fois son poids de borax : en chauffant pendant long-temps, ce sel peut fondre avec le double de son poids de borax; mais alors il se produit pendant l'opération un tel boursouflement, qu'une partie de la matière est toujours soulevée par-dessus les bords du creuset :

Au g. f. 17^{g},62 os calcinés..... 8^{at}
6 ,31 borax..... 1

ont donné un culot bien fondu, compacte, pierreux, à cassure inégale grisâtre et opaque.

Spath fluor :

29^{g},61 spath fluor..... 3^{at}
25 ,25 borax fondu.... 1

se fondent, sans bouillonnement ni boursouflement (p. f.), en pâte liquide. Le composé est compacte, à cassure écailleuse, luisante, translucide, rempli de petites lamelles cristallines, et il ressemble au *grès lustré*.

Sulfate de baryte. — Le sulfate de baryte chauffé (p. f.)

avec moins de son poids de borax, se fond avec bouillonnement, et devient parfaitement liquide.

Manganèse :

27ᵍ,47 protoxide de manganèse.	3ᵉᵍ
25 ,25 borax fondu.....	1

chauffés dans un creuset brasqué (p. f.), sont devenus bien liquides, et ont donné un composé compacte, à cassure lamelleuse en divers sens, renfermant à son centre des cristaux assez gros, d'un gris blanc et opaque.

Les mélanges suivans ont été chauffés dans des creusets brasqués au grand fourneau.

Protoxide de manganèse....	22ᵍ,26.	5ᵉᵍ	—	44,57.	11ᵉᵍ
Borax fondu.....	12,63.	1	—	12,63.	1

Ils ont produit :

Le premier un culot entièrement cristallisé, et qui renfermait, dans les cavités, des cristaux prismatiques assez gros, d'un vert-olive, et légèrement translucides :

Le second un culot pesant 55ᵍ, compacte, un peu bulleux, pierreux, présentant çà et là des indices de cristallisation, d'un vert-olive. Le cinquième du borax employé a dû se volatiliser, et s'infiltrer dans la brasque pendant l'opération.

Fer. — Les battitures de fer, mêlées à parties égales avec le borax, se fondent en pâte liquide (p. f.), sans bouillonnement ni boursouflement, et donnent un composé compacte, à cassure grenue, cristalline, d'un noir métalloïde très brillant.

Le peroxide de fer se fond aussi avec son poids de borax (p. f.), mais moins facilement. Le composé ressemble au précédent, et il est magnético-polaire; mais sa poussière est rouge.

Plomb. — La *litharge* et le borax se combinent ensemble en toutes proportions, et forment des composés très fusibles, homogènes, et dont il ne se sépare jamais d'oxide de plomb.

Avec

84ᵍ,00 litharge...	6ᵉᵍ
12 ,63 borax.....	1

on a (p. f.) un beau verre compacte, à larges cassures conchoïdes, éclatant, d'un beau jaune de topaze et transparent.

Le *sulfate de plomb* se dissout peu à peu dans le borax, et forme un composé blanc, fusible (p. f.), vitreux, jaune et transparent, quand on mêle les deux substances dans le rapport de :

37g,91	sulfate de plomb...	1at
25,25	borax.....	1

Dans les creusets métalliques il ne se dégage aucun gaz; mais dans les creusets de terre on observe une odeur sensible d'acide sulfureux qui résulte de l'action décomposante que la matière du creuset exerce sur le sulfate de plomb.

ARTICLE VII. — *Fluorum de calcium, fluate de chaux, spath fluor.*

§ 1er. — Caractères, propriétés.

Caractères. — On trouve le spath fluor dans la nature, cristallisé en cubes ou en octaèdres réguliers. Précipité d'une dissolution il est en gelée presque transparente, insoluble dans l'eau, mais que l'on ne peut filtrer qu'en y ajoutant de l'ammoniaque. A la température de 60° p. il ne se fond ni ne se ramollit, mais il se contracte beaucoup; à une chaleur plus élevée il se fond assez facilement en un liquide transparent qui cristallise en se solidifiant; chauffé à Sèvres dans un creuset brasqué, il a donné une masse compacte, sans bulles et à texture cristalline : les grains étaient très petits, mais transparens et nets, et l'on pouvait en reconnaître la forme sous le microscope.

Propriétés. — L'acide muriatique étendu et bouillant dissout une certaine quantité de spath fluor; l'acide nitrique bouillant le décompose en partie; l'acide sulfurique anhydre, liquide ou gazeux, ne l'attaque pas; mais l'acide sulfurique hydreux concentré le change en une pâte visqueuse, à une chaleur inférieure à 40°; le même acide, à l'état de vapeurs, le décompose, selon M. Kulmann,

et à une chaleur plus forte il le décomposè complètement; l'acide hydro-fluorique le dissout. Au contact de la silice ou des silicates, l'acide sulfurique en dégage du fluorure de silicium qui est gazeux. Il est inattaquable par les alcalis caustiques, l'ammoniaque le précipite de toutes ses dissolutions sans l'altérer; mais les carbonates alcalins, employés en excès, le décomposent par *voie humide* et par *voie sèche*, à une température suffisamment élevée. Il est composé de Composition.

Calcium.....	0,5227	—	100	CaF
Fluor.....	0,4773	—	91,11	

Il équivaut à 0,727 de chaux et à 1,75 de sulfate de chaux calciné. Son atome pèse 489,92.

Usage. — Le spath fluor est rarement employé dans les essais, cependant c'est un excellent fondant pour un certain nombre de substances à l'égard desquelles il ne pourrait être remplacé par aucun autre, ainsi qu'on va le voir. Il y a des cas où l'on pourrait s'en servir avec avantage, néanmoins nous devons dire que, lorsqu'il y a présence de silice, il a l'inconvénient de donner lieu à une volatilisation plus ou moins considérable, ce qui empêche de rien conclure du poids du culot relativement à l'exactitude de l'essai.

§ 2. — Action fondante.

Nous avons examiné la manière dont se comporte le spath fluor avec les principales substances que l'on a à traiter dans les essais; voici quel a été le résultat de nos recherches.

Silice. — Nous avons chauffé dans des creusets brasqués les mélanges suivans :

Spath fluor.....	100^g	—	100^g
Quarz en poudre.....	30	—	47

Le premier mélange a donné (S.) un culot parfaitement arrondi, compacte, sans la moindre bulle, à cassure unie, à grains fins et cristallins, ressemblant au marbre blanc statuaire; il pesait 114^g; il y a donc eu perte de 16^g. Les bords du creuset étaient enduits, surtout vers les angles, d'un verre bulleux, incolore et transparent, pro-

venant de l'action que le gaz fluo-silicique qui s'était dégagé, avait exercé sur la matière des creusets, à la faveur des gaz hydrogénés qui remplissaient le fourneau. Le gaz fluo-silicique pouvant être regardé comme composé de

Acide fluorique.....	0,409	—	3at
Silice.....	0,591	—	2

il s'ensuit que les 16 parties qui se sont dégagées contenaient 6,56 d'acide fluorique et 9,44 de silice; et par conséquent, qu'il s'est décomposé 24 parties de fluate de chaux, environ le quart de la quantité employée, et qu'il s'est volatilisé près du tiers de la silice. Le culot devait être composé de :

Fluorure de calcium.....	76g,0	—	0,666
Chaux.....	17,4	—	0,152
Silice.....	20,6	—	0,182

ou de

0,666 de fluorure de calcium
et 0,334 de silicate de chaux CS^2.

Il paraîtrait donc que le spath fluor serait sans action sur le silicate CS^2 et sur les silicates plus basiques.

Le second mélange a donné (g. f.) un culot compact, sans bulles, blanc, opaque, très dur, à cassure pierreuse inégale, ressemblant à du quarz compacte; il pesait 126g; il y donc eu 21g de perte : les bords du creuset étaient enduits de verre.

Les 21 parties de perte devaient contenir 8,6 d'acide fluorique, et 12,4 de silice; il a donc dû se décomposer 31,5 de fluate de chaux, près du tiers de la quantité employée, et se volatiliser le quart de la silice. Le culot devait être composé de

Fluorure de calcium.....	68g,5	—	0,544
Chaux.....	22,9	—	0,182
Silice..	34,6	—	0,274

ou de

Fluorure de calcium	0,544
Silicate de chaux $CS^{\frac{5}{3}}$.....	0,456

Il paraît résulter de ces expériences, que plus la pro-

portion de spath fluor est grande par rapport à la silice, et plus la quantité de celle-ci qui se volatilise est considérable, et moins le silicate de chaux qui se forme et qui se combine avec le fluate de chaux, contient de silice.

Argile :

Spath fluor.....	100^g	—	0,303
Quarz en poudre....	190	—	0,575
Alumine.....	40	—	0,122

chauffés dans un creuset brasqué (S.), ont donné un culot bien arrondi, compacte, sans la moindre bulle, à cassure partie lamelleuse, partie conchoïde, translucide, d'un gris clair. Il pesait 270^g : perte 60, composée de 24^g,6 acide fluorique et 35^g,4 de silice. La presque totalité du fluate de chaux aurait donc été décomposée, mais il est probable qu'il y a eu perte accidentelle. Si l'expérience est exacte, le culot doit contenir :

Fluorure de calcium....	10^g,0	—	0,033
Chaux.....	65,4	—	0,242
Alumine.....	40,0	—	0,149
Silice.....	154,6	—	0,576

La silice, l'alumine et la chaux forment la combinaison ordinaire la plus fusible CAS^2.

Spath fluor.....	100^g
Quarz en poudre.....	130
Kaolin décanté calciné.....	100

ont été chauffés dans un creuset brasqué (g. f.); on a eu un culot bien fondu, compacte, translucide, blanc, à cassure inégale, très dur. Il pesait 287^g,5; la perte, 42,5, devait se composer de 17,4 d'acide fluorique et 25,1 de silice. Il s'est donc décomposé 64 de fluate de chaux, les deux tiers de la quantité employée, et il s'est volatilisé le cinquième de la silice. Le culot devait contenir :

Fluorure de calcium.....	36^g
Chaux.....	46,6
Silice.....	104,9
Kaolin décanté.....	100
	287,5

On voit, par les expériences qui précèdent, que le spath fluor agit comme fondant de deux manières : 1°. en se combinant avec les silicates dont il peut déterminer la fusion; 2°. et principalement en réagissant sur ces silicates, de manière à former du gaz fluo-silicique en se décomposant lui-même, et par là à soustraire de la silice et à introduire de la chaux dans le composé; circonstances qui concourent toutes deux à produire des combinaisons fusibles.

Oxides. — Le fluorure de calcium ne paraît pas pouvoir former de combinaisons avec les oxides.

Chaux. Nous avons chauffé au creuset,

Spath fluor.....	19ᵍ,59	—	1ᵉᵗ
Marbre.....	25,25	—	1

Nous avons eu (S.) un culot compacte, sans bulles, pierreux, à cassure inégale et matte, blanc et opaque, qui laissait sur la langue la saveur de la chaux, et qui, mis dans l'acide acétique, se gonflait, tombait en déliquescence, et laissait dissoudre une grande quantité de chaux.

Manganèse.

Spath fluor.....	9,79	—	1ᵉᵗ
Protoxide de manganèse...	9,12	—	1

ont donné (S.) un culot très bulleux, à cassure grenue et matte, présentant çà et là quelques indices de cristallisation, d'un vert d'oxide de manganèse; il y avait à sa surface un grand nombre de petites grenailles de manganèse métallique, et il exhalait sous l'haleine l'odeur de l'hydrogène. On distinguait visiblement dans quelques parties qu'il n'y avait eu que mélange entre les deux matières.

Sulfates. — C'est surtout avec les sulfates que le spath fluor a la propriété de former des combinaisons extrêmement fusibles, et cette propriéte est mise à profit dans quelques usines à plomb d'Angleterre, notamment à Lea, près de Matloc, à Grassington, dans l'Yorkshire, etc.

Sulfate de soude. Nous avons chauffé les mélanges suivans dans des creusets de terre au simple fourneau de calcination, pouvant donner une chaleur de 50 à 60° p.

Spath fluor..... 19ᵍ,74. 1ᵃᵗ — 19ᵍ,74. 2ᵃᵗ
Sulfate de soude anhydre.. 35,68. 1 — 17,84. 1

Le premier s'est fondu très facilement, et est devenu aussi liquide que de l'eau. La matière a pris un très grand retrait par le refroidissement; elle était compacte, à cassure grenue, cristalline et fortement translucide, mais elle ne présentait pas de cristaux isolés.

Le deuxième mélange s'est fondu avec un léger bouillonnement, mais il n'est pas devenu extrêmement liquide. La matière ressemblait à la précédente, mais elle était plus tenace et plus dure.

Sulfate de chaux.

Spath fluor..... 19,74. 2ᵃᵗ— 4,93. 1ᵃᵗ— 2,47. 1ᵃᵗ
Sulfate de chaux..... 21,64. 1 —21,64. 2 —21,64. 4

Le premier mélange s'est fondu à l'aide d'un coup de feu un peu fort. La matière était compacte, à cassure inégale, et ne présentait que de faibles indices de cristallisation.

Le deuxième s'est complètement liquéfié, et est devenu très fluide à l'aide d'un coup de feu. La matière était compacte, sans bulles, blanche, légèrement translucide, à cassure grenue laminaire, à lames très éclatantes.

Le troisième, quoique très fortement chauffé, ne s'est pas complètement fondu; mais il s'est ramolli. La matière était très bulleuse, blanche, opaque, à cassure grenue et à grains fins; la surface intérieure des bulles était polyédrique.

Spath fluor..... 9,87. — 1ᵃᵗ
Sulfate de chaux cristallisé... 21,64. — 1

ou

Fluorure de calcium..... 0,365
Sulfate de chaux anhydre.. 0,635

sont entrés très promptement en pleine fusion, et sont devenus extrêmement liquides. La matière était d'un blanc un peu nacré, translucide, cristalline, composée de grandes lames entrecroisées en divers sens; il y avait dans les cavités quelques cristaux déterminables. C'est le composé de fluorure et de sulfate de chaux le plus fusible.

Sulfate de baryte.

Spath fluor..... 9,87. 1^{at} — 19,74. 2^{at}
Sulfate de baryte..... 29,16. 1 — 29,16. 1

Le premier mélange s'est fondu; mais, quoique chauffé très fortement, il n'est pas devenu parfaitement liquide. La matière refroidie était très boursouflée dans quelques parties, à cassure grenue cristalline; les parois des cavités étaient polyédriques, et l'on apercevait çà et là quelques petits cristaux prismatiques.

Le deuxième, fortement chauffé, s'est complètement liquéfié. La matière était compacte, à cassure légèrement cristalline, un peu translucide, incolore, mais elle ne présentait aucun indice de cristaux.

Sulfate de plomb.

Spath fluor..... 9,87. 1^{at} — 4,98. 1^{at} — 4,98. 1^{at}
Sulfate de plomb.. 37,91. 1 —37,91. 2 —75,82. 4

Le premier mélange $\left(\begin{matrix}\text{Fluorure.} & 0{,}21\\ \text{Sulfate..} & 0{,}79\end{matrix}\right)$ s'est fondu avec la plus grande facilité, et est devenu liquide comme de l'eau. La matière était compacte, à cassure pierreuse inégale, un peu luisante, opaque et légèrement grisâtre, sans indice de cristallisation.

Le deuxième mélange $\left(\begin{matrix}\text{Fluorure} & 0{,}116\\ \text{Sulfate..} & 0{,}884\end{matrix}\right)$ s'est fondu aussi facilement que le précédent, et il est devenu aussi liquide. La matière était semblable à la précédente, mais d'un blanc jaunâtre.

Le troisième, fortement chauffé, s'est fondu; mais il n'a pas acquis une liquidité complète. La matière était bulleuse à petites bulles, ce qui lui donnait l'apparence d'une pierre-ponce, grenue et s'égrenant sous l'ongle, un peu jaunâtre, sans indice de cristallisation.

Sulfate de plomb et chaux.

Spath fluor..... 0,181 — 1^{at}
Sulfate de plomb..... 0,690 — 1
Chaux..... 0,129 — 1

sont promptement devenus très fluides. La matière refroidie était lamelleuse et cristalline. La plus grande partie était d'un gris pâle et opaque; mais la partie inférieure du culot était jaune, ce qui semble indiquer séparation d'oxide

de plomb, et par conséquent formation de sulfate de chaux.

Phosphates :

Spath fluor..... 19ᵍ,74 — 4ᵃᵗ
Phosphate de chaux des os.. 27,67 — 1 (g. f.)

se sont contractés de manière à ne plus toucher les parois du creuset, et se sont ramollis, mais sans se fondre. La matière était très cohérente, bulleuse, surtout à la partie inférieure, à cassure matte et pierreuse.

Sulfures. — Le spath fluor n'a aucune action sur les sulfures : quand on le fond avec ceux-ci, il y a ordinairement simple mélange ; mais lorsque le sulfure est très fusible et pesant, il se sépare et tombe au fond du creuset.

Spath fluor..... 20ᵍ — 1ᵃᵗ
Sulfure de barium..... 42,32 — 1 (58,32 sulfate)

Sulfure de barium.

chauffés dans un creuset brasqué (S.), ont donné un culot bien fondu, rempli de petites bulles arrondies, d'un rouge de chair pâle, opaque, à cassure un peu luisante présentant une multitude de petites lamelles cristallines ; il exhalait une forte odeur sulfureuse.

Spath fluor..... 10ᵍ — 1ᵃᵗ
Sulfure de calcium.. 9,05 — 1 (17,14 sulfate)

Sulfure de calcium.

chauffés dans un creuset brasqué (g. f.), ont donné un culot pesant 19ᵍ,05 bien fondu, à grandes bulles, blanc, légèrement translucide, à cassure grenue cristalline, ou plutôt composé de grains cristallins brillans et microscopiques. Traité par l'acide muriatique, il a laissé dégager beaucoup de gaz hydrogène sulfuré.

Spath fluor..... 20ᵍ — 1ᵃᵗ
Protosulfure de fer..... 21,6 — 1

Sulfure de fer.

chauffés dans un creuset brasqué (S.) ont donné un culot pesant 39ᵍ,5, qui se composait : 1°. de fluate de chaux fondu, incolore, transparent dans les fragmens minces, composé de gros grains cristallins, et 2°. d'un culot métallique pesant 19ᵍ,5, formé lui-même de deux substances différentes : l'une qui était du sulfure fondu, et l'autre, occupant la partie inférieure, et qui était de la fonte : le poids de

celle-ci était de 2ᵉ,5 environ. Il y a donc eu une certaine quantité de sulfure de fer décomposée par le charbon.

On voit, d'après ces expériences, que le spath fluor serait un bon flux pour faire une fonte crue à une haute température.

ARTICLE VIII. — *Carbonate de potasse, carbonate de soude.*

Nous avons déjà fait connaître les propriétés oxidante et désulfurante des carbonates alcalins; nous allons considérer maintenant ces *réactifs* comme fondans. On a vu (pages 423 et 430) comment ils se comportent avec la silice et avec les silicates à une haute température; nous n'aurons donc à examiner ici que les effets qu'ils produisent dans les essais qui se font à une chaleur moyenne, et qui s'élève tout au plus à 60° p.

§ 1ᵉʳ. — Caractères et propriétés.

Propriétés générales. — Le carbonate de potasse et le carbonate de soude ont une réaction alcaline très forte; leur saveur est âcre et caustique. Ils sont extrêmement fusibles : au rouge naissant ils deviennent aussi liquides et aussi transparens que de l'eau, et en se refroidissant ils se prennent en masses blanches translucides très cristallines. Ils sont indécomposables par la plus forte chaleur, mais ils sont très sensiblement volatils, même à la chaleur rouge.

Fusibilité.

Silice. La silice et les silicates les décomposent par *voie sèche;* l'acide carbonique s'en sépare en produisant une vive ébullition, et souvent avec un boursouflement considérable : la présence du charbon facilite beaucoup cette décomposition; alors ce n'est plus du gaz acide carbonique, mais du gaz oxide de carbone qui se dégage. En se substituant dans les silicates aux oxides métalliques par leur forte affinité, ils facilitent la réduction de ces oxides par le charbon.

Oxides. Ils peuvent former des combinaisons fusibles avec la plupart des oxides métalliques : dans ces combinaisons l'oxide métallique remplace une certaine partie de l'acide carboni-

que, mais ces sortes de composés sont peu stables; ils sont presque tous détruits par le charbon, qui réduit l'oxide métallique, ou par l'eau, qui dissout l'alcali.

Corps infusibles.

A raison de leur grande fusibilité, les carbonates alcalins ont encore la propriété de pouvoir tenir en suspension, sans perdre toute leur fluidité, une proportion assez grande d'un corps infusible réduit en poudre très fine, tel qu'une terre, du charbon, du fer métallique à l'état naissant, etc.

Carbonate de potasse. — Le carbonate de potasse est très soluble dans l'eau et déliquescent, mais il ne se dissout pas dans l'alcool; il contient 0,33 d'eau de cristallisation. A l'état anhydre il est composé de

Composition.

Potasse.....	0,681	—	100	$\dot{K}\ddot{C}$
Acide carbonique.....	0,319	—	46,67	

Son atome pèse 866,35.

Carbonate de soude. — Le carbonate de soude hydreux est efflorescent, il se dissout dans 2 parties $\frac{1}{2}$ d'eau à 12°, et il se fond dans son eau de cristallisation à une chaleur peu différente de celle de l'ébullition de l'eau; il renferme 0,63 d'eau de cristallisation. A l'état anhydre il est composé de

Composition.

Soude.....	0,586	—	100	$\dot{N}\dddot{C}^2$
Acide carbonique...	0,414	—	70,6	

Son atome pèse 667,33.

Préparation. — Les carbonates alcalins destinés aux essais doivent être privés de toute leur eau de cristallisation par la calcination, il vaudrait même mieux qu'ils fussent fondus; on les réduit ensuite en poudre que l'on passe au tamis de soie, et on les conserve dans des flacons bien bouchés. On peut employer indifféremment le carbonate de potasse ou le carbonate de soude; cependant la propriété déliquescente du premier fait qu'il est beaucoup moins commode que le second.

Mélange.

Les carbonates alcalins du commerce renferment toujours une certaine quantité de muriate et de sulfate. Dans les cas les plus ordinaires la présence de ces sels est sans inconvénient; mais il y a des circonstances dans lesquelles

le sulfate pourrait être nuisible; il est donc nécessaire de se pourvoir d'un carbonate pur.

Nitre et charbon.

On se procure aisément du carbonate de potasse exempt de muriate et de sulfate, au moyen du nitre et du charbon: pour cela on pulvérise grossièrement 6 parties de nitre de troisième cuite, et 1 partie de charbon choisi; on mêle bien les matières, et l'on projette le mélange, cuillerée par cuillerée, dans une chaudière de fonte que l'on a fait un peu chauffer. Il y a déflagration très vive, et c'est à cause de cela qu'il ne faut pas réduire les matières en poudre trop fine, car alors le torrent de gaz qui se dégage en projetterait en l'air une grande partie. Il se produit une chaleur très forte, et le carbonate de potasse se prend en masse frittée au fond de la chaudière; on en sépare avec soin les parties qui sont encore mélangées de charbon, et l'on pulvérise le reste.

Nitre et tartre.

On prépare souvent aussi du carbonate de potasse pour les essais, en faisant détoner un mélange de 1 à 2 parties de nitre, et de 1 partie de tartre brut ou de crème de tartre; le carbonate alcalin qui en résulte contient quelques centièmes de carbonate de chaux provenant du tartrate de chaux que le tartre renferme toujours : mais il est rare que cela ait de l'inconvénient. On remarque aussi que lorsque l'on chauffe très fortement il se produit une quantité très notable de cyanure de potassium. Le carbonate de potasse préparé par ce procédé était connu des anciens docimasistes, sous le nom de *flux blanc*.

Carbonate de soude du commerce.

On trouve toujours du carbonate de soude artificiel pur chez les marchands de produits chimiques. Si l'on n'avait que du carbonate ordinaire, il serait aisé de le purifier en le faisant dissoudre à chaud, de manière à obtenir une dissolution saturée, et en laissant cristalliser par refroidissement. En réitérant cette opération deux ou trois fois sur les cristaux, tout le muriate et tout le sulfate resteraient dans les eaux-mères.

§ 2. — Action fondante.

Terres. — Les terres (chaux, magnésie, alumine) n'ont pas, comme la silice, la propriété d'expulser l'acide carbonique des carbonates alcalins, lors même qu'il y a présence de matières combustibles; elles ne contractent aucune combinaison avec ces carbonates, mais elles s'y disséminent comme une poussière inerte, et elles y sont retenues en mélange par adhérence : ce mélange diminue beaucoup la fluidité des carbonates fondus. A cet égard, un même poids de chaque terre ne produit pas le même effet : pour obtenir un degré égal de fluidité, il faut une proportion d'autant plus grande de carbonate alcalin, que la terre est plus légère. Un mélange de 1 partie de chaux caustique et de 8 parties de carbonate de soude, chauffé au rouge vif, devient assez liquide pour qu'on puisse le couler. La magnésie provenant de la calcination de l'hydro-carbonate du commerce, et qui est presque aussi légère que de la farine, ne forme, avec dix fois son poids de carbonate alcalin, qu'une scorie matte qui reste adhérente aux parois du creuset; il faut plus de 15 parties de carbonate pour que le mélange puisse se liquéfier.

Chaux.

Magnésie.

Quand on ajoute de la silice au mélange d'une terre ou d'un carbonate alcalin, la terre se combine avec la silice et avec l'alcali, et les effets sont les mêmes que lorsqu'on fond un silicate de la terre avec un alcali carbonaté.

Silicates.

Oxides. — La plupart des oxides métalliques ont la propriété de décomposer en partie les carbonates alcalins à la chaleur rouge; ils en expulsent une partie de l'acide carbonique auquel ils se substituent, et ils forment des composés triples d'oxide métallique, d'alcali et d'acide carbonique. Ces composés sont presque tous détruits par l'eau, qui met à nu l'oxide métallique et dissout l'alcali et le carbonate alcalin.

Pour que les combinaisons des oxides métalliques et des carbonates alcalins soient bien fusibles, il faut qu'elles renferment un certain excès de matière alcaline.

Oxides de fer. Le peroxide de fer ne paraît pas pouvoir former de semblables combinaisons; il se précipite promptement au fond du creuset; mais lorsqu'on ajoute à cet oxide une quantité de fer métallique (fil découpé ou limaille) suffisante pour le transformer en protoxide, il se fond très bien avec six fois son poids de carbonate de potasse et donne une matière compacte, gris verdâtre et très cristalline, dans laquelle l'oxide de fer paraît être combiné.

Le fer spatique se fond avec 3 à 4 parties de carbonate de potasse et donne une matière homogène couleur purée de pois.

Oxides d'étain. Le deutoxide d'étain entre en fusion parfaite avec 5 parties de carbonate de potasse : la combinaison est blanche, translucide et cristalline.

Lorsqu'on chauffe 1 partie d'étain métallique avec 4 à 5 parties de carbonate de potasse, on obtient une matière très fluide, compacte, opaque, d'un jaune de cire, cristalline, dans laquelle l'étain est probablement à l'état de protoxide.

Oxides de manganèse. Le peroxide de manganèse se fond parfaitement avec 3 parties de carbonate de potasse et donne une matière homogène d'un vert grisâtre, à cassure grenue et cristalline. Cette matière contient beaucoup de *caméléon* ou *manganate* de potasse.

Avec 5 parties de flux noir ce peroxide produit une combinaison très fluide, gris de perle, ne colorant pas l'eau, et dans laquelle le manganèse n'est qu'au *minimum* d'oxidation.

Oxides de zinc. L'oxide de zinc ne se fond que difficilement avec les carbonates alcalins. Avec 5 parties de carbonate de potasse la matière est peu fluide, homogène, d'un blanc légèrement jaunâtre, translucide et cristalline.

Oxides de cuivre. Le deutoxide de cuivre donne, avec 3 parties de carbonate de potasse, un composé très fluide, compacte, opaque, d'un rouge de cire à cacheter à l'extérieur, et vert à l'intérieur. Une portion de l'oxide est ramenée au *minimum* dans l'opération, probablement à la faveur des vapeurs combustibles qui émanent du foyer.

La litharge se fond en toutes proportions avec les carbonates alcalins, et produit des composés très fluides, cristallins, opaques, d'un jaune de saumon frais, ou d'un jaune-safran clair. Litharge.

Carbonates. — Les carbonates alcalins se comportent avec divers sels d'une manière remarquable et qui n'a été observée que depuis peu de temps : ils se combinent très facilement avec ceux des carbonates terreux qui peuvent supporter la chaleur rouge sans se décomposer, et ils forment avec ces carbonates des composés extrêmement fluides; mais si l'on chauffe à une température suffisante pour décomposer le carbonate terreux, l'acide carbonique de ce carbonate se dégage, la matière bouillonne et s'épaissit de plus en plus, et elle finit par se transformer en une masse infusible qui n'est plus qu'un mélange de carbonate alcalin, et de la terre amenée à l'état caustique.

Nous avons chauffé à une chaleur graduée jusqu'au rouge vif les mélanges suivans : Carbonate de chaux.

Carbonate de soude...	10^{g},43.	1^{at}	—10^{g},43.	1^{at}	—10^{g},43.	1^{at}
Carbonate de chaux...	9,89.	1	—19,78.	2	—29,67.	3

Les deux premiers sont devenus liquides comme de l'eau, et à l'état solide ils étaient compactes, translucides et à cassure très cristalline; en les chauffant de nouveau jusqu'à les fondre, et poussant ensuite la chaleur jusqu'au blanc, ils se sont décomposés avec bouillonnement, et ils ont perdu toute leur fluidité.

Le troisième mélange s'est ramolli sans se fondre entièrement.

La *dolomie* (carbonate double de chaux et de magnésie $CC^{2} + MC^{2}$) peut se combiner aussi avec le carbonate de soude; mais pour former une combinaison bien fluide, elle exige 4 atomes de ce carbonate, ou 26,62 par 11,65 de dolomie. Pour peu qu'on élève la chaleur au-dessus du rouge vif, le carbonate de magnésie se décompose, et la matière perd de sa fluidité. Dolomie. Magnésie.

Le carbonate triple de chaux, de manganèse et de fer, auquel on a donné le nom d'*ankérite*, et qui est composé de Ankérite.

Carbonate de chaux.....	0,511	
Carbonate de magnésie....	0,257	— 1
Carbonate de fer.....	0,200	
Carbonate de manganèse...	0,030	
	0,998	

se fond bien avec deux fois son poids de carbonate de soude, et donne une masse d'un gris foncé, opaque, à cassure cristalline, dans laquelle la plus grande partie du fer et du manganèse doit se trouver à l'état d'oxides.

Carbonate de baryte.

Carbonate de soude.....	13,32	— 1^{at}
Carbonate de baryte natif.....	24,64	— 1

donnent au rouge vif une combinaison aussi liquide que de l'eau, et qui, lorsqu'elle est refroidie, est compacte et pénétrée d'une multitude de petites lamelles cristallines. Cette combinaison peut être chauffée très fortement sans perdre sa fluidité, parce que le carbonate de baryte est indécomposable par la chaleur.

Sulfates. — Les mélanges de

Sulfate de chaux.

Carbonate de soude.....	13,32	— 1^{at}
Sulfate de chaux.....	17,14	— 1

et de

Sulfate de baryte.

Carbonate de soude.....	13,32	— 1^{at}
Sulfate de baryte.....	29,16	— 1

se fondent tranquillement et sans aucun dégagement de gaz à la chaleur rouge, et deviennent extrêmement liquides.

Le premier est compacte, légèrement translucide, à cassure grenue un peu cristalline. Lorsqu'on le chauffe à la chaleur blanche, il bouillonne, abandonne de l'acide carbonique, perd sa liquidité et se change en un mélange de sulfate de soude et de chaux caustique.

Le second est compacte, pierreux, à cassure inégale presque unie, ne présentant que de faibles indices de cristallisation. Il peut supporter une température très élevée sans se décomposer et sans perdre de sa liquidité.

Il est probable que dans ces combinaisons chaque

base prend une partie des deux acides proportionnelle à sa masse.

Fluorures. — Le spath fluor forme des composés très fusibles avec les carbonates de potasse ou de soude. Spath fluor.

Carbonate de potasse.....	17ᵍ,3..	1ᵉᵗ	— 8ᵍ,66. 1ᵉᵗ
Spath fluor.....	9,80.	1	— 9,80. 2

sont devenus liquides comme de l'eau à la chaleur rouge. Ces composés, refroidis, étaient compactes, pierreux, un peu translucides, à cassure grenue, présentent çà et là quelques lamelles cristallines : ils tombaient en déliquescence à l'air. Lorsqu'on les traite par l'eau, le liquide dissout du carbonate et du fluate de potasse : avec le premier mélange, l'eau dissout beaucoup plus de carbonate qu'avec le second. Quand on chauffe fortement les combinaisons fondues, elles se décomposent en laissant dégager de l'acide carbonique, et elles deviennent infusibles.

Phosphates. — Le phosphate de chaux, provenant de la calcination des os, pourrait théoriquement être complètement décomposé par 4 atomes de carbonate de soude, 1332 pour 690 de phosphate; mais il ne se fond pas avec cette quantité de flux alcalin. Avec 8 atomes il ne donne qu'un pâte consistante; mais avec 16 atomes, ou environ quatre fois son poids, il devient parfaitement liquide, et il prend en se refroidissant l'aspect du marbre blanc. Quand on chauffe à la chaleur blanche le composé qu'on a fait fondre à la chaleur rouge, il abandonne de l'acide carbonique, et il ne tarde pas à perdre sa fluidité. Phosphate de chaux.

Silice. — A la chaleur rouge le quarz en poudre se dissout dans les carbonates alcalins, en se combinant avec l'alcali qu'il enlève à l'acide carbonique. Cet acide, en se dégageant, produit une vive effervescence, et un boursouflement excessif qui soulève presque toujours la matière jusque par-dessus les bords du creuset. Quand on ajoute du charbon au mélange, ou quand on emploie du flux noir, la décomposition est beaucoup plus facile, et elle a lieu avec un bouillonnement tranquille Quarz.

et presque sans boursouflement, parce que le charbon favorise la séparation de l'acide carbonique et de l'alcali, en transformant cet acide en gaz oxide de carbone. Le silicate qui se forme est d'autant plus fusible que l'on emploie une plus grande proportion d'alcali; avec 1 partie de sable quarzeux et 5 parties de carbonate de soude anhydre on a un verre émaillé, pâteux, excessivement boursouflé; avec 5 parties de flux noir on a un verre compacte, sans bulles, fortement translucide, à cassure conchoïde un peu cristalline. Pour obtenir une fusion bien liquide il faut employer 6 à 8 parties de flux noir ou de carbonate alcalin mêlé de charbon.

Silicates. Les silicates terreux, tels que les argiles, les silicates de chaux, etc., se comportent avec les carbonates alcalins, purs ou mêlés de charbon, absolument de la même manière que le quarz : ils ne se fondent bien qu'avec 6 à 8 parties de matières alcalines.

ARTICLE IX. — *Nitre, nitrate de potasse, salpêtre.*

Nous avons fait connaître les propriétés du nitre page 390. Ce sel se décomposant à la chaleur blanche, agit comme fondant à cette température, aussi énergiquement que de la potasse caustique. La présence de la silice ou des silicates facilite et accélère d'ailleurs beaucoup sa décomposition.

ARTICLE X. — *Sel marin, chlorure de sodium, muriate de soude.*

§ 1er. — Caractères et propriétés.

Usage. — Les anciens docimasistes recommandaient fréquemment l'usage du sel marin : tantôt ils le mêlaient avec les flux, tantôt ils en mettaient une certaine quantité pardessus, soit pour préserver la matière du contact de l'air, soit pour tempérer le boursouflement. L'emploi de cette substance nous paraît absolument superflu quand on la destine seulement à recouvrir d'autres substances.

Manière d'agir. Lorsqu'on la mêle avec les flux, elle peut elle-même

agir comme fondant à l'égard d'un certain nombre de corps, et par conséquent contribuer quelquefois à donner de la fluidité aux scories ; mais comme elle est très volatile et qu'elle a une grande tendance à entraîner avec elle les métaux à l'état de vapeurs, toutes les fois qu'on en emploie on est exposé à faire des pertes notables, c'est donc un flux qui ne peut convenir que dans un très petit nombre de cas. Inconvéniens.

Nous allons néanmoins faire connaître ses principales propriétés, ainsi que son action fondante.

1er. — Caractères et propriétés.

Propriétés. — Le sel marin est un composé de chlore et de sodium qui ne contient pas d'eau de cristallisation. Il cristallise en cubes, soit par *voie humide*, soit par *voie sèche*. Tout le monde connaît sa saveur. Il est déliquescent dans l'air très humide. A 14°, 100 parties d'eau en dissolvent 36 parties, et à 109°, 40 parties ; à — 10°, sa solubilité diminue beaucoup ; un peu au-dessous de cette température il produit des cristaux qui renferment 0,38 d'eau ; mais lorsqu'on expose ces cristaux à la température ordinaire, ils abandonnent toute leur eau, et ils se changent en masses incohérentes composées de petits grains cubiques et anhydres. Le sel marin est à peu près insoluble dans l'alcool absolu. Il est tout-à-fait insoluble dans les dissolutions saturées de nitrate ou de muriate de chaux. Solubilité.

Lorsqu'on expose une dissolution concentrée de chlorure de sodium et de sulfate de magnésie à une température inférieure à zéro, il se cristallise du sulfate de soude, et l'eau-mère renferme du chlorure de magnésium.

Lorsqu'on chauffe le sel marin il décrépite et se réduit en poudre, puis à la chaleur rouge il se fond en un liquide transparent, et il cristallise très bien par le refroidissement. Aussitôt qu'il est fondu il commence à répandre des vapeurs dans l'air ; à la chaleur blanche il se volatilise en abondance, et ses vapeurs traversent et enveloppent les creusets de terre de toutes parts. Fusibilité. Volatilité.

Le sel marin est composé de : Composition.

Sodium..... 0,3966
Chlore..... 0,6034 NaCl

Son atome pèse 733,55.

Dans l'ancienne hypothèse on le considérait comme formé de :

Soude 0,5329
Acide muriatique.... 0,4671

Sel du commerce. Le sel du commerce n'est jamais absolument pur : il contient presque toujours du sulfate de chaux et du sulfate de magnésie, et quelquefois du sulfate de soude, du muriate de magnésie et du muriate de chaux ; néanmoins le sel blanc de première qualité peut servir à tous les

Purification. usages docimasiques. Il serait d'ailleurs facile d'en séparer toutes les substances étrangères. Pour cela il faudrait le dissoudre dans l'eau, y ajouter du muriate de chaux, s'il contenait du sulfate de soude ; puis y verser du lait de chaux jusqu'à précipitation complète de la magnésie, filtrer et rapprocher pour séparer le sulfate de chaux ; il ne resterait plus alors que du muriate de chaux : on décomposerait ce sel par le carbonate de soude, et l'on ferait cristalliser.

Pour l'usage de la *voie sèche*, il est nécessaire de broyer le sel et de le chauffer dans un creuset, à une chaleur sombre, jusqu'à ce qu'il cesse de décrépiter.

§ 2. — Action fondante.

Métaux. — Nous avons dit que lorsque l'on chauffe du sel marin avec des métaux il en entraîne une certaine quantité en se vaporisant : ayant fait fondre un mélange de

10^{g} cuivre rouge en copeaux
10 sel marin décrépité

dans un creuset de terre (p. f.), le creuset a été bientôt enveloppé d'une vapeur épaisse qui communiquait à la flamme une belle couleur bleue ; et au bout de peu de temps tout le sel marin s'est trouvé volatilisé ; on a alors rempli le creuset de flux noir, pour ramener à l'état métallique la portion de cuivre qui s'était oxidée, et l'on a eu un culot qui pesait 9^{g},7 ; il y a donc eu

dans l'opération une perte de $0^{g},3 = 0,03$, que l'on ne peut attribuer qu'à la volatilisation.

Le sel marin est sans action sur les terres et sur la plupart des oxides et des sulfures.

Le sel marin ne se combine ni avec les terres ni avec les oxides métalliques, ni avec les sulfures.

Litharge. — Quand on fond du sel marin avec de la litharge, on obtient une matière cristalline jaune, recouverte par une couche de sel plus ou moins épaisse. Ce sel est légèrement coloré en jaune; en le dissolvant dans l'eau, il abandonne 0,03 ou 0,04 d'oxide de plomb, qui s'y trouve sans doute retenu par simple adhérence, et la liqueur n'est point du tout alcaline; cependant une partie du chlorure se décompose dans l'opération, car la matière jaune qui occupe le fond du creuset a le même aspect que le *jaune de Turner*, et contient du chlorure de plomb: ce doit être un composé de chlorure de plomb, d'oxide de plomb et de soude. A la chaleur blanche il se produit une fumée épaisse, formée de vapeurs de sel marin et de chlorure de plomb.

Sels. — Le sel marin se comporte avec les carbonates et avec les sulfates à bases de terres alcalines, comme les carbonates et les sulfates alcalins, c'est-à-dire qu'il forme avec eux des combinaisons qui deviennent très fluides au rouge vif.

Carbonate de chaux.

$12^{g},62$ carbonate de chaux... 1^{at}
$14,67$ sel marin..... 1

donnent un composé translucide, à cassure inégale et écailleuse : lorsqu'on le chauffe à la chaleur blanche il abandonne de l'acide carbonique, et il se transforme en un mélange de chaux et de chlorure de sodium.

Carbonate de baryte.

$24^{g},65$ carbonate de baryte.. 1^{at}
$14,67$ sel marin..... 1

donnent un composé d'un blanc d'émail, translucide, à cassure un peu luisante, en partie écailleuse, en partie lamelleuse.

Sulfate de baryte.

$29^{g},16$ sulfate de baryte..... 1^{at}
$14,67$ sel marin..... 1

donnent un composé faiblement translucide, à cassure

inégale et cristalline, et qui présente même des indices de cristaux dans les cavités.

Sulfate de plomb.

37ᵍ,91 sulfate de plomb..... 1ᵉᵗ
14 ,67 sel marin..... 1

donnent un composé compacte, gris, facilement translucide, à cassure écailleuse. La matière bouillonne continuellement pendant qu'elle est en fusion, et elle répand dans l'air des vapeurs épaisses de chlorure de plomb.

Spath fluor. Le sel marin et le spath fluor se fondent ensemble à la chaleur blanche; mais ils ne réagissent alors que très faiblement l'un sur l'autre. A une haute température ils se décomposent au contraire réciproquement, du moins en partie.

9ᵍ,80 spath fluor..... 1ᵉᵗ
14 ,67 sel marin..... 1

chauffés dans un creuset brasqué (g. f.) donnent un culot compacte à grains cristallins, facile à écraser, du poids de 14ᵍ,95. La perte est donc de 9ᵍ,52. Ce culot est déliquescent, et se compose de 8ᵍ,00 de spath fluor et de 6ᵍ,95 d'un mélange de chlorure de calcium et de chlorure de sodium. Il suit de là que le cinquième environ du fluorure de calcium se décompose dans l'opération, et produit du fluorure de sodium qui se volatilise en totalité avec une quantité considérable de sel marin : cependant une partie de celui-ci reste dans le culot, et se retrouve aussi dans la brasque, qui en est tout imprégnée.

Phosphate de chaux. Le phosphate de chaux ne paraît pas pouvoir se combiner avec le sel marin. Pour que ces deux substances fassent entre elles un mélange liquide, il faut que le sel marin s'y trouve dans la proportion de trois fois le poids du phosphate au moins.

Borates. Silicates. Le sel marin n'entre en combinaison ni avec les borates ni avec les silicates. Il se sépare même du borax et vient nager à sa surface quand on le fait fondre avec ce sel.

ARTICLE XI. — *Flux noir et ses équivalens.*

Nature. *Flux noir.* — Le flux noir est un réactif à la fois réductif et fondant. C'est un mélange de carbonate de po-

tasse et de charbon dans un état de division extrême. Ce flux est un des plus anciens que l'on connaisse : il est fort employé, et d'un excellent usage.

Préparation. On le prépare à peu près comme le flux blanc : on fait un mélange bien intime de 2 parties au moins de tartre brut ou de crème de tartre pour 1 partie de nitre; on place le mélange dans un vase de fer, tel qu'un étouffoir, on y met le feu à l'aide d'un charbon allumé, et on le laisse brûler tranquillement. Quand la combustion est achevée on retire la matière de l'étouffoir, on la broie, on la passe à travers un tamis de crin serré pendant qu'elle est encore chaude, et on la conserve dans des flacons bien bouchés, afin de la préserver de l'humidité qui la ferait promptement tomber en déliquescence.

Le charbon que renferme le flux noir, s'y trouve dans un état de division extrême, et pour ainsi dire comme une teinture charbonneuse, adhérente à toutes les particules alcalines; aussi n'empêche-t-il pas la fusion d'être bien liquide et reste-t-il toujours disseminé d'une manière uniforme dans toutes les parties de la matière fondue.

Usage. Le flux noir est en même temps *fondant, réductif* et *désulfurant*. On en fait un très grand usage pour les essais de plomb et de cuivre. Comme il a l'inconvénient de se boursoufler beaucoup, surtout au commencement de l'opération, il faut avoir soin de n'en remplir les creusets qu'aux deux tiers environ.

Flux plus charbonneux. On conçoit que lorsque l'on a à réduire et à fondre en même temps, la proportion relative de charbon et de carbonate alcalin doit varier selon la nature de la matière dont on doit faire l'essai, et que souvent il convient d'employer le moins possible d'alcali afin d'obtenir la plus forte proportion possible de métal. On peut se procurer du flux noir plus riche en charbon en mêlant avec 1 partie de nitre 2 $\frac{1}{2}$ à 3 parties de tartre.

Composition. Le flux noir ordinaire contient 0,05 de charbon et 0,04 de carbonate de chaux. Le flux noir préparé avec 2 $\frac{1}{2}$ de tartre brut et 1 de nitre, contient 0,08 de char-

bon, et 0,05 de carbonate de chaux; enfin celui pour lequel on emploie 3 parties de tartre et 1 de nitre, contient 0,12 de charbon, et 0,06 de carbonate de chaux.

Préparation. *Mélanges équivalens.* — On peut remplacer le flux noir par des mélanges de carbonate de soude pur et anhydre, passé au tamis de soie, et de divers réductifs. Quand on se sert de charbon, il faut le réduire en poudre extrêmement fine, il serait même bon qu'il fût porphyrisé, ou broyé dans des tonneaux tournans avec des balles, comme on le fait pour la préparation de la poudre : on doit le prendre bien sec, mais il ne faudrait pas le calciner, parce qu'il perdrait de sa combustibilité, et qu'il deviendrait par conséquent moins bon réductif. On peut se contenter de trois flux composés de :

Carbonate de soude..	0,94	— 0,88	— 0,816
Charbon.....	0,06	— 0,12	— 0,184

Le second équivaut à peu près à du sodium et de l'acide carbonique; et le troisième équivaut à du sodium et de l'oxide de carbone. Mais nous ferons remarquer que, quelques précautions que l'on prenne, ces mélanges n'acquièrent pas la même liquidité que le flux noir, et que le charbon tend à s'en séparer pour s'amasser à la surface, lorsque après la fusion il en reste encore une proportion un peu forte.

Au lieu de charbon il est préférable d'employer le sucre ou l'amidon pour faire avec le carbonate de soude un fondant équivalant au flux noir : le mélange se fait d'une manière plus intime, et le réductif en excès se décomposant en grande partie par la chaleur, quand la fusion a eu lieu il ne reste jamais assez de charbon pour empêcher les matières d'être suffisamment fluides.

Tartre carboné. La crème de tartre charbonnée par une demi-combustion, jusqu'à réduction à la moitié de son poids, est à peu près amenée à ne plus contenir que du carbonate de potasse mêlé d'un peu de carbonate de chaux, et du charbon, dans la proportion d'environ 0,10; cependant quand on la traite par l'eau on a une couleur brune, ce qui prouve qu'il y reste encore une certaine quantité de matière végétale soluble.

ARTICLE XII. — *Tartre brut. Crème de tartre.*

La crème de tartre est du tartrate acide de potasse contenant un peu de tartrate de chaux; le tartre brut n'en diffère qu'en ce qu'il contient une certaine quantité de matière végétale qui le colore en rouge.

Propriétés. Le tartrate acide de potasse cristallise en prismes tétraèdres courts, inaltérables à l'air; sa saveur est légèrement acide. Il faut 95 parties d'eau f. et 15 parties d'eau b. pour le dissoudre. La dissolution, exposée à l'air, se transforme peu à peu en carbonate. Il est très soluble dans les acides sulfurique, muriatique et oxalique, mais il ne se dissout pas en plus grande proportion dans l'acide acétique et dans l'acide tartrique que dans l'eau pure. La potasse, la soude et l'ammoniaque, et plusieurs autres bases, augmentent beaucoup sa solubilité en l'amenant à l'état de sel neutre. Il est composé de

Potasse.....	0,2488	
Acide tartrique....	0,7038	$\dot{K}\bar{T}^2+\dot{H}$
Eau.....	0,0474	

Son atome pèse 2363,81.

Calcination. Lorsqu'on chauffe du tartre brut ou de la crème de tartre dans des creusets couverts, il y a décomposition rapide avec dégagement de fumée et de gaz combustibles qui s'enflamment autour du couvercle; la matière s'agglomère, mais sans se fondre ni se boursoufler. Le résidu est noir, bulleux et friable; celui du tartre brut pèse 0,35 à 0,36 et contient 0,155 de charbon et 0,04 de carbonate de chaux; celui de la crème de tartre pèse 0,37 à 0,38 et contient 0,07 de charbon et 0,06 de carbonate de chaux.

Manière d'agir. Ces réactifs produisent les mêmes effets que le flux noir, et sont beaucoup plus réductifs, parce qu'ils renferment une plus grande proportion de substances combustibles; mais à cause de cela même ils ont l'inconvénient de ne pas entrer en pleine fusion lorsque la matière que l'on essaie ne consomme qu'une petite partie du réductif qu'ils contiennent. On peut s'en servir avec avantage dans les essais qui exigent une forte proportion de réductif et peu de fondant.

ARTICLE XIII. — *Sel d'oseille, oxalate acide de potasse.*

Propriétés. L'oxalate acide de potasse cristallise en petits parallélépipèdes blancs, opaques, et inaltérables à l'air. Il faut 10 parties d'eau b. pour le dissoudre, il est beaucoup moins soluble à froid. Il est composé de

Potasse.....	0,343
Acide oxalique.....	0,526
Eau.....	0,131

Calcination. Lorsqu'on le chauffe, il se décompose en décrépitant faiblement et en se couvrant d'une légère flamme bleue, puis il se ramollit, et enfin il entre en pleine fusion dès qu'il s'est transformé en totalité en carbonate. Quand l'oxalate est bien pur, le carbonate qui en résulte est parfaitement blanc et ne contient pas de charbon, mais le plus souvent ce carbonate est taché çà et là de points noirâtres, ce qui provient sans doute de ce que les oxalates du commerce renferment toujours une certaine quantité de substances combustibles étrangères.

Quadrioxalate. Quand on évapore une dissolution de sel d'oseille faite dans de l'acide muriatique étendu, il se dépose un sel moins soluble qui est le *quadrioxalate*. Il en existe toujours une certaine proportion dans le sel d'oseille du commerce; on peut aussi le produire de toutes pièces en mélangeant l'acide avec du carbonate de potasse dans des proportions convenables. Il est composé de

Potasse.....	0,186
Acide oxalique	0,567
Eau..	0,247

Son pouvoir réductif ne serait par conséquent pas beaucoup plus grand que celui de l'oxalate.

ARTICLE XIV. — *Savon blanc ou marbré.*

Caractères. Le savon dur blanc ou marbré est un composé de soude et d'un acide gras; il a une saveur légèrement alcaline; sa densité diffère peu de celle de l'eau; il est très soluble dans ce liquide, plus à chaud qu'à froid; il se dissout

aussi dans l'alcool, il est décomposé par la plupart des acides, qui s'unissent à la soude et mettent l'acide gras en liberté. Il contient environ : Composition.

Soude.....	0,06
Acide gras.....	0,64
Eau.....	0,30

Lorsqu'on le chauffe en vase clos il se fond, se boursoufle considérablement, et se décompose en laissant dégager de la fumée et des gaz combustibles, et il laisse pour résidu un mélange de carbonate de soude et de charbon, dans lequel ce dernier entre pour 0,05 environ. Calcination.

De tous les flux réductifs, le savon est celui qui peut absorber la plus grande quantité d'oxigène; et comme le résidu de sa décomposition par la chaleur ne contient pas beaucoup de charbon, il a aussi la propriété de donner des scories bien fluides. Cependant on l'emploie peu, parce que ces avantages sont compensés par d'assez grands inconvéniens. Ces inconvéniens sont de se boursoufler beaucoup et d'être trop léger. Pour pouvoir le mêler intimement avec les matières à réduire, il faut le réduire en poudre à l'aide d'une râpe; or cet état de division lui fait occuper un très grand volume, et il en résulte que si l'on veut éviter d'employer des creusets d'une grandeur démesurée, il faut y introduire le mélange par doses successives, à de certains intervalles, ce qui prend du temps et est peu commode. Il y a néanmoins des cas où l'usage du savon peut être avantageux, surtout en le mélangeant avec d'autres flux. Manière d'agir. Inconvéniens.

ARTICLE XV. — *Pouvoir réductif de différens flux.*

Pouvoir réductif. — En fondant chacun des différens flux réductifs dont il vient d'être fait mention, avec un excès de litharge, suivant le mode que nous avons décrit (page 228), nous avons trouvé qu'une même quantité de chacun de ces flux produit les quantités de plomb suivantes :

Flux noir ordinaire fait avec 2 de tartre.....	1,40
Idem fait avec 2 $\frac{1}{2}$ de tartre.....	1,90

Flux noir fait avec 3 de tartre			3,80
Carbonate de soude	0,94		
Charbon	0,06		1,80
Carbonate de soude	0,88		
Charbon	0,12		3,60
Carbonate de soude	0,90		
Sucre	0,10		1,40
Carbonate de soude	0,80		
Sucre	0,20		2,80
Carbonate de soude	0,90		
Amidon	0,10		1,15
Carbonate de soude	0,80		
Amidon	0,20		2,30
Tartre brut			5,60
Crème de tartre			4,50
Crème de tartre charbonnée			3,10
Crême de tartre calcinée			2,20
Oxalate acide de potasse (sel d'oseille)			0,90
Savon blanc de soude			16,00

En mêlant du savon râpé soit avec du sel d'oseille, soit avec du carbonate de soude, on pourrait faire d'excellens flux réductifs.

Des mélanges de :

			plomb
Sel d'oseille	0,85	produiraient	3,25
Savon	0,15		
Carbonate de soude	0,85	produiraient	2,40
Savon	0,15		

Effet particulier des flux alcalins réductifs. — Tous les flux qui sont composés de matières alcalines et de substances charbonneuses, outre qu'ils sont fondans, réductifs et désulfurans, produisent souvent encore un autre effet qu'il est essentiel de faire connaître : ils peuvent introduire une certaine quantité de potassium ou de sodium en alliage dans le métal dont ils opèrent la réduction. M. Vauquelin est le premier qui ait observé et constaté ce phénomène (*Annales des Mines*, T. IV, page 116) : il a reconnu que lorsque l'on fond de l'oxide d'antimoine, de l'oxide de bismuth ou de

l'oxide de plomb avec du tartre en excès, les métaux que l'on obtient ont des caractères particuliers qu'ils doivent à la présence de quelques centièmes de potassium qu'ils contiennent en combinaison. M. Sérullas (*Annales des Mines*, T. VI, page 127, et T. VIII, page 150) a montré comment on doit procéder pour charger ces métaux d'une très forte proportion de radical alcalin, soit potassium, soit sodium; et il a fait voir que l'étain peut s'obtenir allié avec ces radicaux, comme l'antimoine, le bismuth et le plomb. Pour que ces alliages se produisent, il faut que le flux contienne une forte proportion de charbon, et que celui-ci s'y trouve dans un état de division extrême; la crème de tartre brute ou charbonnée est de tous les flux celui qui remplit le mieux ces conditions; l'alliage renferme d'autant plus de métal alcalin que l'on chauffe plus fortement et pendant plus long-temps. Dans le mode ordinaire de faire les essais, et à la température à laquelle on opère, les métaux, hormis l'antimoine, ne prennent qu'une quantité insignifiante de métal alcalin.

Il est certain que la présence de certains métaux favorise beaucoup la réduction des alcalis par le moyen du charbon; mais les expériences de MM. Brunner, Gmelin et Wœhler, prouvent que cette réduction peut avoir lieu même en l'absence de tout métal étranger; seulement elle exige une température beaucoup plus élevée que lorsqu'il peut se former un alliage. A la chaleur des petits fourneaux d'essai (50 à 60° p.), elle ne s'opère pas encore.

ARTICLE XVI. — *Flux complexes non métalliques.*

Nous ne voulons ni ne pourrions faire connaître tous les flux complexes qui ont été imaginés par les anciens docimasistes. Les essais de ce genre ont été infinis; et c'était autrefois presqu'une chose de nécessité pour chacun que d'inventer un flux nouveau dont il devait faire exclusivement usage. Nous nous bornerons à citer les suivans, qui

ont eu le plus de célébrité, quoiqu'on n'en fasse presque plus usage.

1°. *Flux* de Schlutter :

Tartre.....	0,83
Nitre.....	0,16
Fiel de verre..	0,33
Sable.....	0,09
Charbon.....	0,09
	1,00

Usage. Ce flux ne peut servir qu'aux mêmes usages que le flux noir; mais celui-ci est toujours préférable. Le fiel de verre, mélange de sulfate et de muriate alcalin qui surnage les pots de verrerie, peut même être nuisible en introduisant du sulfure : quant au muriate, à la fin de l'opération il vient surnager le bain, le comprime, et le défend du contact de l'air, et sous ce rapport il peut avoir de l'utilité. Le sable est nuisible dans le cas général : peut-être serait-il utile pour fondre des matières très calcaires.

2°. *Flux* de Crammer :

Tartre.....	0,60
Verre pilé.....	0,20
Fiel de verre..	0,10
Charbon.....	0,10
	1,00

Inconvéniens Ce flux doit être beaucoup trop charbonné et peu fusible.

3°. Flux de Snack :

Tartre	0,16
Sel ammoniac...	0,16
Verre pilé.....	0,16
Flux noir.....	0,32
Borax.....	0,10
Charbon.....	0,10
	1,00

Inconvéniens. Ce flux est encore plus compliqué que les précédens; de plus, la présence du sel ammoniac peut être nui-

sible, parce que ce sel a la propriété d'entraîner plusieurs substances métalliques en vapeurs.

4°. *Flux* de Pelair :

Fiel de verre..	0,50
Sel marin.....	0,50
	1,00

Ce flux ne peut tout au plus servir que pour recouvrir le mélange à fondre, afin de tempérer le bouillonnement et de diminuer la volatilisation; mais le sel marin pur est préférable pour cet usage. Usage.

5°. *Flux* de Kirwan :

Chaux.....	0,18
Fluate de chaux...	0,18
Sel marin.....	0,51
Charbon.....	0,13
	1,00

Ce flux ne peut servir que pour les essais à une haute température, et alors la présence du sel marin peut être nuisible en vaporisant une partie du métal. Inconvéniens.

6°. *Flux* de Guyton :

Verre pilé...	0,85
Borax.....	0,10
Charbon.....	0,05
	1,00

Ce flux peut être bon pour faire des essais à une haute température : c'est un verre très fusible; mais il n'a aucun avantage sur le borax pur, et celui-ci est plus fondant. D'ailleurs, comme il n'est pas composé de matières fixes, on ne peut tirer aucune conséquence du poids du culot relativement à l'exactitude de l'essai : Usages.

7°. *Flux* de Chaptal :

Borax.....	0,60
Chaux.....	0,06
Nitre.....	0,34
	1,00

Le nitre et le charbon qu'on y ajoute doivent produire

du carbonate de potasse ; il aurait mieux valu en ajouter de tout préparé. La chaux est tout-à-fait superflue. Le borax pur est préférable à ce flux.

ARTICLE XVII. *Litharge et céruse.*

La litharge et tous les flux dont il va être question, appartiennent à la série des flux métalliques. Ces flux agissent quelquefois uniquement comme fondans ; mais le plus souvent ils ont en même temps pour effet de produire un alliage des métaux contenus dans le minerai que l'on essaie, avec une portion du métal qui se trouve dans le flux.

La céruse produit absolument les mêmes effets que la litharge, comme fondant, parce qu'elle abandonne tout son acide carbonique à une température très peu élevée.

Lorsque nous avons examiné l'action oxidante et désulfurante de la litharge (pages 382 et 396), nous avons dû faire connaître les propriétés d'un grand nombre de combinaisons que cette substance forme avec les oxides métalliques. Nous ajouterons encore quelque chose ici pour compléter ce que nous avons à dire à ce sujet ; mais auparavant nous allons faire voir comment la litharge se comporte avec les alcalis, avec les terres, avec les silicates et avec quelques autres sels.

La litharge n'est jamais employée comme flux qu'à une température basse : aussi les expériences dont nous allons rapporter les résultats n'ont-elles été faites qu'à une chaleur de 50 à 60° p.

Alcalis. — La litharge se fond en toutes proportions avec les alcalis et avec les carbonates alcalins, sans qu'il y ait combinaison.

Terres. — Elle ne paraît pas pouvoir se combiner avec les terres ; mais elle les retient en suspension par adhérence : ce mélange diminue considérablement sa liquidité.

Chaux. Avec 1 partie de chaux et 2 parties de litharge on a une masse scoriforme jaunâtre non fondue.

Avec 1 partie de chaux et 4 parties de litharge il y a ramollissement, mais non fusion liquide.

Avec 1 partie de chaux et 8 parties de litharge il y a fusion, mais la matière reste pâteuse; elle est caverneuse, cristalline, jaune et opaque.

Si l'on remplace la chaux par des quantités équivalentes de carbonate de chaux, les résultats sont les mêmes.

La *magnésie* se fond plus difficilement avec la litharge que la chaux : avec 10 parties de litharge le mélange reste encore pâteux. Magnésie.

L'alumine donne avec dix fois son poids de litharge un mélange qui se fond assez bien pour être coulé. La matière est compacte, d'un jaune de cire, opaque et un peu cristalline. Alumine.

Nous avons vu (page 452) que le silicate $Pb^{3}Si$ qui contient : Silice.

Oxide de plomb.....	0,706
Silice.....	0,294

et tous ceux qui renferment une plus forte proportion d'oxide de plomb, se fondent facilement en verres transparens, d'un jaune d'autant moins foncé qu'ils contiennent plus de silice.

Sels. — Les silicates terreux se combinent avec la litharge, et donnent naissance à des composés facilement fusibles, quand cet oxide est employé en proportions convenables. Sels.

Les argiles (silicates d'alumine) exigent pour se fondre une d'autant plus grande quantité de litharge qu'elles contiennent plus d'alumine. Le kaolin lavé, qui renferme plus d'alumine que toute autre argile, donne une pâte liquide avec cinq fois son poids de litharge. La matière est compacte, sans bulles, à cassure conchoïde, éclatante, transparente, et d'un assez beau vert-olive. Argiles.

Nous avons soumis à l'expérience les mélanges suivans de litharge, de carbonate de chaux et de sable quarzeux : Silicates de chaux.

Litharge...	55s,74.	1at	—	55s,74.	2at	—	84s,61.	6at	—	111s,48.	4at
Craie.....	25,25.	1	—	12,62.	1	—	12,62.	2	—	12,62.	2
Sable.....	7,70.	1½	—	3,15.	1½	—	3,75.	2½	—	3,75.	1½

Le premier CPS^2 ne s'est pas ramolli.

Le second CP^2S^2 s'est fortement ramolli sans se fondre.

Le troisième CP^3S^2 est devenu pâteux.

Le quatrième CP^4S^2 est entré en pleine fusion ; la matière était compacte, grenue, peu cristalline, opaque, et d'un jaune d'oxide de plomb.

Pour que le silicate double de plomb et de chaux se forme il faut chauffer assez fortement pour que le carbonate de chaux puisse se décomposer. Quand, au lieu de carbonate de chaux, on emploie son équivalent de chaux caustique, la fusion a lieu plus facilement : elle a lieu beaucoup plus facilement encore quand on traite par la litharge une combinaison préalablement faite de silice et de chaux.

Silicates de chaux et d'alumine.

Un mélange de :

Litharge.....	50
Craie.....	10
Argile.....	10

se fond assez facilement en pâte liquide. La matière refroidie est compacte, à cassure cireuse, grisâtre et opaque.

Sulfate de baryte.

Les mélanges de sulfate de baryte et de litharge ne deviennent liquides que lorsqu'ils contiennent au moins 7 à 8 parties de litharge pour 1 partie de sulfate de baryte (8 atomes pour 1 atome). La matière est compacte, grenue et cristalline.

Sulfate de chaux.

Il en est de même pour les mélanges de sulfate de chaux anhydre et de litharge.

Spath fluor.

Avec le spath fluor il faut au moins 8 parties de litharge pour obtenir une bonne fusion pâteuse (3 atomes pour 1 atome) ; la matière est compacte, à cassure vitreuse, luisante, faiblement translucide, couleur de purée de pois.

Phosphate de chaux.

Le phosphate de chaux qui résulte de la calcination des os ne contracte aucune combinaison avec la litharge : cet oxide, à l'état liquide, le mouille et le traverse comme de l'eau mouille et traverse un filtre de papier. Lorsqu'on chauffe du phosphate de chaux avec de la litharge dans un creuset, à peine si le mélange se ra-

mollit lorsqu'il contient 10 parties de litharge pour une partie de phosphate : il en faut 15 à 20 parties pour obtenir une bonne fusion.

L'addition du quarz n'augmente pas la fusibilité des mélanges de phosphate de chaux et de litharge.

Oxides métalliques. — L'oxide de titane ne se fond qu'avec 8 parties de litharge, et donne une matière compacte, à cassure unie et luisante, opaque, couleur café au lait. Oxide de titane.

Deux mélanges de protoxide de manganèse, formés de : Protoxide de manganèse.

Protoxide de manganèse....	10^g	10^g
Litharge.....	40	100

ont donné :

Le premier un composé qui s'est fondu, mais qui est resté pâteux : il était bulleux, en partie cristallin, en partie compacte, d'un gris-verdâtre foncé, et opaque ;

Le second un composé qui est devenu très liquide, et qui a cristallisé à grandes lames comme la litharge ; d'un vert-olive clair. Dans l'une ni dans l'autre de ces expériences il ne s'est produit de plomb métallique ; ce qui prouve que le protoxide de manganèse ne réduit pas la litharge.

Nous savons déjà que le protoxide de fer forme une combinaison très fusible avec quatre fois son poids de litharge (p. 385) ; les fers spathiques, même lorsqu'ils sont magnésiens, fondent aussi très bien avec 4 parties de litharge ; les composés sont noir-brun, opaques, à cassure unie, très magnétiques : leur poussière est d'un vert-bouteille sale. Il se réduit toujours une petite quantité de litharge pendant l'opération ; ce qui fait croire qu'une partie de fer se suroxide. Protoxide de fer.

Les battitures de fer se fondent aussi très facilement avec 4 parties de litharge. La matière est compacte, opaque, à cassure unie et luisante, un peu métalloïde, et très fortement magnétique. Battitures.

Le peroxide de fer se fond promptement avec 10 parties de litharge, et donne une masse compacte, à cas- Peroxide de fer.

sure unie un peu luisante, opaque, d'un rouge de foie, tachant les creusets en un beau rouge de porphyre.

Lorsqu'on fond le peroxide de fer avec une grande quantité de litharge, avec vingt fois son poids, par exemple, si l'on opère le refroidissement brusquement, on obtient une matière compacte, vitreuse, à cassure éclatante, et qui, vue par réfraction dans les éclats minces, paraît d'un beau rouge-hyacinthe; mais si on laisse refroidir lentement la matière fondue, elle se partage en deux parties, l'une inférieure qui est de la litharge pure, et l'autre supérieure qui paraît être identique avec le composé qui se forme quand on fond le peroxide de fer avec dix fois son poids de litharge.

Protoxide de cuivre.

On a vu (p. 385) que le protoxide de cuivre forme avec la litharge, même lorsque celle-ci n'entre que pour 0,60 dans le mélange, des composés très fusibles, et qui ont une grande tendance à s'infiltrer à travers les pores des creusets de terre.

Deutoxide de cuivre.

Le deutoxide de cuivre se fond aussi très facilement avec la litharge, mais les composés qu'il produit ne traversent pas les creusets comme les précédens. Quand on emploie

Deutoxide de cuivre. .	9^{g},91.	1^{at}	—	9^{g},91. 1^{at}
Litharge.....	27,89.	1	—	55,78. 2

on a des composés très fluides (p. f.) qui sont, avec le premier mélange, compactes, à cassure grenue, matte, d'un noir métalloïde à la surface et d'un brun-rouge à l'intérieur, dont la poussière est de couleur chocolat, et qui tachent les creusets en noir brillant un peu métalloïde; et avec le second, cristallins comme la litharge, d'un noir-brun foncé éclatant, opaques, tachant les creusets en noir-brun brillant tirant sur le verdâtre.

La couleur des composés donne lieu de présumer qu'une partie de l'oxide de cuivre qu'ils contiennent est ramenée au *minimum* d'oxidation pendant la fusion.

Le protoxide d'antimoine fond en toutes proportions avec la litharge (p. 383). Protoxide d'antimoine.

Pour obtenir une bonne fusion avec l'acide antimonieux, il faut employer environ cinq fois son poids de litharge. Avec les proportions suivantes : Acide antimonieux.

Acide antimonieux...	$20^g,12.\ 1^{at}$	— $20^g,12.\ 1^{at}$
Litharge.....	55,78. 2	— 83,67. 3

on a (p. f.) :

Pour le premier mélange une masse fortement ramollie, mais non fondue, un peu bulleuse, à cassure grenue, matte, d'un gris olivâtre ;

Pour le second un antimonite qui se fond en pâte liquide à l'aide d'un coup de feu, et qui est compacte, à cassure unie, sans éclat, d'un gris foncé, olivâtre et opaque.

Le deutoxide d'étain ne donne qu'une scorie molle avec six fois son poids de litharge ; avec douze à treize fois son poids de cette substance il y a liquéfaction complète, et la matière est compacte, à cassure écailleuse, opaque, et d'un jaune sale. Deutoxide d'étain.

L'oxide de zinc se fond en consistance pâteuse avec 6 à 7 parties de litharge ; mais avec 8 parties, il produit un composé bien liquide, cristallin comme la litharge, à très petites lames, d'un jaune très pâle, et opaque. Oxide de zinc.

Le sulfate de plomb, qui est très peu fusible, forme un sous-sulfate qui devient aussi liquide que de la litharge lorsqu'on le chauffe avec une quantité d'oxide de plomb égale à celle qu'il contient. Sulfate de plomb.

Sulfate de plomb.....	$37^g,91$ — 1^{at}	$p^2 g^3$
Litharge.....	27,89 — 1	

ont donné une masse compacte, cristalline, incolore, translucide, qui renfermait au centre une cavité remplie de cristaux prismatiques aplatis, transparens. Pour peu que l'on emploie un petit excès de litharge, le sous-sulfate se colore et devient d'un jaune de paille ou d'un beau jaune de soufre.

Acide arsénique.

L'acide arsénique et la litharge forment des combinaisons qui prennent toute la fluidité de l'eau.

Les trois mélanges suivans :

Acide arsénique...	28^{g},8.	1^{at}	—	28^{g},8.	1^{at}	—	28^{g},8. 1^{at}
Litharge.....	55,8.	2	—	111,6.	4	—	27,9. 1

ont donné :

Le premier un arséniate (A^5P^2) compacte, à cassure grenue et lamelleuse, légèrement translucide, d'un blanc d'émail un peu bleuâtre, à cause de la petite quantité de cuivre que contient toujours la litharge;

Le second un arséniate (A^5P^4) compacte, à cassure inégale, luisante, présentant à la surface et dans les cavités des cristaux en longs prismes déliés, légèrement translucides, et d'un jaune pâle et terne;

Le troisième un arséniate (A^5P) compacte, transparent, à cassure légèrement conchoïde, présentant des indices de cristallisation.

Acide arsénieux.

Trois mélanges d'acide arsénieux et de litharge, composés de :

Acide arsénieux...	24^{g},8.	1^{at}	—	24^{g},8.	1^{at}	—	24^{g},8. 1^{at}
Litharge.....	55,8.	2	—	111,6.	4	—	27,9. 1

se sont facilement fondus avec dégagement de vapeurs arsenicales, et ont produit :

Le premier un verre orangé mêlé d'une matière grise olivâtre, et d'un petit culot de plomb pesant 2^{g};

Le second une matière compacte, à cassure inégale, et cristalline dans les cavités, à peine translucide, d'un gris olivâtre à la partie supérieure, et grisâtre sans éclat métallique à la partie inférieure, et un culot de plomb pesant 9^{g};

Le troisième un verre transparent très éclatant, et d'un beau jaune de gomme-gutte.

Arsénio-silicates.

Les arsénio-silicates de plomb sont extrêmement fusibles. Nous avons essayé les deux composés suivans :

Acide arsénieux...	24^{g},8.	1^{at}	—	24^{g},8.	1^{at}		
Quarz.....	11,5.	1	—	23,0.	2		
Litharge.....	55,8.	2	—	55,2.	2		

Le premier est devenu fluide comme de l'eau et a donné une matière compacte, à cassure conchoïde luisante, d'un beau jaune-paille et opaque.

Le second a donné une matière semblable, mais moins fluide.

ARTICLE XVIII. — *Verre de plomb, silicate de plomb.*

Les silicates de plomb sont préférables à la litharge pour traiter les matières qui ne renferment pas de silice, et qui contiennent des terres ou des oxides qui ne peuvent pas former de combinaison avec l'oxide de plomb quand ils sont seuls, mais qui s'y combinent à la faveur de la silice. Pour liquéfier ces matières il faut employer au moins autant de silicate de plomb qu'il faudrait de litharge; mais avec le silicate on obtient une combinaison homogène dans laquelle il ne peut pas rester de parties métalliques en suspension; tandis qu'avec la litharge, comme les terres ne sont que mélangées, on n'est pas aussi certain d'en séparer exactement les particules métalliques qu'il s'agit d'en extraire.

On a vu quelle est la fusibilité des différens silicates de plomb (p. 452), et de quelle manière on les prépare. Le silicate PS^2, composé d'environ 1 partie de silice et 4 d'oxide de plomb, suffit pour tous les essais. Quand on veut augmenter sa fusibilité, on le mêle avec une quantité convenable de litharge. On peut aussi se dispenser de préparer un silicate de plomb à l'avance, et y suppléer par un mélange de litharge et de sable siliceux.

ARTICLE XIX. — *Borate de plomb.*

Les borates de plomb sont des fondans bien meilleurs encore que les silicates pour les matières qui contiennent des terres libres; mais pour qu'ils n'aient pas l'inconvénient de se boursoufler, il est nécessaire qu'ils renferment un excès d'oxide. Le borate PB, contenant 0,9056 d'oxide de plomb et 0,0944 d'acide borique, est d'un bon usage lorsqu'il ne doit pas se réduire beaucoup d'oxide

de plomb pendant l'opération; dans le cas contraire, il faudrait le mélanger avec de la litharge.

Au lieu de borate de plomb on emploie souvent un mélange de borax fondu et de litharge, qui produit les mêmes effets.

ARTICLE XX. — *Sulfate de plomb.*

Le sulfate de plomb est décomposé par toutes les matières siliceuses et par la chaux; en sorte que quand il se trouve avec ces substances, il se transforme en litharge et leur sert de fondant. Il sert même de fondant lorsqu'on l'emploie comme oxidant, et que son acide seul est décomposé.

Le plomb métallique joue le rôle de fondant toutes les fois qu'on le tient en pleine fusion au contact de l'air, parce qu'alors il se transforme rapidement en oxide. Dans un grand nombre de circonstances on l'emploie de préférence à la litharge pour faire ce que l'on appelle une *scorification;* opération qui a pour objet d'amener à l'état de scories un certain nombre de substances qui sont alliées ou mélangées avec des *métaux fins*.

ARTICLE XXI. — *Oxide de cuivre.*

On se sert rarement de l'oxide de cuivre pour faire fondre des matières oxidées; mais quelquefois, dans les essais d'or et de zinc par exemple, on l'emploie pour produire un alliage avec le métal que l'on veut recueillir. Dans ce cas, l'oxide doit être mélangé avec un réductif. On peut le remplacer par du cuivre métallique en limaille; mais l'oxide se mélange plus intimement avec les autres matières.

Lorsqu'une partie du cuivre reste à l'état d'oxide dans les scories, il s'y trouve au *minimum* d'oxidation, et il contribue à la fusion des silicates terreux.

ARTICLE XXII. — *Oxides de fer.*

Les oxides de fer, excepté le peroxide, sont de très bons fondans pour les silicates en général. Il est rare cepen-

dant qu'on les emploie pour cet usage : on ne s'en sert le plus souvent que pour introduire du fer métallique dans un alliage, ou pour recueillir un métal infusible ou très difficilement fusible en alliage avec le fer (le manganèse, le tungstène, le molybdène) : on doit employer un oxide pur et dont la composition soit bien connue ; des battitures choisies, par exemple.

ARTICLE XXIII. — *Flux métalliques complexes.*

Les flux métalliques complexes proposés par les anciens docimasistes sont en grand nombre ; nous n'en citerons que trois :

1°. *Flux* de Borrichius :

Verre de plomb.....	0,66
Flux noir.....	0,34

Ce flux peut être bon pour essayer les matières d'or et d'argent, mais seulement dans quelques cas particuliers ; car le plus ordinairement les mélanges de litharge et de flux noir sont préférables. Usage.

2°. *Flux* de Hellot :

Limaille de fer.....	0,07
Minium.....	0,13
Tartre rouge.....	0,26
Sel marin.....	0,54

Ce flux doit être à la fois désulfurant par le fer qu'il contient, réductif par le tartre, et propre à donner un alliage par le minium. Hellot dit qu'il rassemble les plus petites parcelles d'or et d'argent. Le sel marin n'étant destiné qu'à recouvrir le bain de matières fondues pour tempérer le boursouflement, il vaudrait probablement mieux le mettre par-dessus les substances qui entrent dans le flux, que de les mélanger avec elles. Usage.

3°. *Flux* d'Antoine Amand :

Acide arsénieux....	0,25
Nitre.....	0,25
Litharge.....	0,50

On fait fondre ces trois substances : il est évident Usage

qu'il doit en résulter de l'arséniate de plomb et de potasse. Ce flux est d'un blanc jaunâtre : on le conserve dans des flacons bien bouchés. Il a été très célèbre autrefois, parce que l'on prétendait qu'il était excellent pour extraire tout l'or des cendres d'orfèvre; mais il ne paraît pas que l'on en fasse usage maintenant. L'acide arsénique doit contribuer à donner de la fluidité aux scories; mais il doit arriver souvent que l'alliage de plomb et de métaux fins que l'on obtient dans l'essai contienne de l'arsenic, et cela doit en rendre la coupellation difficile et défectueuse.

CHAPITRE VI.

DES MÉTAUX CONSIDÉRÉS EN GÉNÉRAL.

SECTION PREMIÈRE.

Propriétés générales.

ARTICLE PREMIER. — *Classifications.*

Corps simples. — On connaît maintenant cinquante-cinq corps simples. On partage ces corps en classes et genres de diverses manières. Généralement on les distingue en corps métalliques ou *métaux*, et corps non métalliques ou *métalloïdes*. D'autres les divisent en corps *électro-négatifs* ou acidifiables, et corps *électro-positifs* ou basifiables.

M. Ampère a posé les principes d'une classification naturelle et philosoplique, dans le beau travail qu'il a publié en 1816 (voy. *Ann. de Chimie*, T. II, p. 116), et il a jeté le plus grand jour sur ce sujet en montrant que, pour que chaque corps se trouvât placé entre les deux autres corps avec lesquels il a le plus d'analogie, il fallait introduire les alcalis et les terres au milieu des métaux proprement dits. Il a divisé les corps simples en quinze genres formant trois ordres; mais les connaissances acquises depuis seize ans obligent de modifier un peu son arrangement. Dans l'état des choses, et sans s'écarter des principes de ce savant, nous pensons qu'on peut ranger les cinquante-cinq élémens connus comme il suit :

Classification systématique. — Ier ORDRE. — GAZOLITES OU MÉTALLOÏDES; corps formant par leurs combinaisons mutuelles un ou plusieurs gaz permanens qui peuvent

subsister avec le contact de l'air; en général électro-négatifs par rapport aux corps des deux autres ordres.

1er GENRE. — *Borides* (*silicium, bore*); forment des gaz permanens acides avec le fluor; ne forment pas de gaz avec l'hydrogène; produisent des composés acides avec l'oxigène.

2e GENRE. — *Carbone;* ne se combine pas avec le fluor; forme des combinaisons gazeuses, neutres avec l'hydrogène, et acides avec l'oxigène.

3e GENRE. — *Hydrogène;* toujours électro-positif par rapport à tous les autres gazolites; forme un grand nombre de composés gazeux, acides, neutres ou basiques.

4e GENRE. — *Chlorides* (*fluor, chlore, brôme, iode*); ne se combinent pas directement avec l'oxigène; forment des composés gazeux acides avec l'hydrogène, et des composés neutres avec les métaux les plus électro-positifs.

5e GENRE. — *Oxigénides* (*oxigène, soufre, sélénium, tellure*); ce sont les seuls qui forment des combinaisons basiques avec les métaux électro-positifs. Le premier forme avec l'hydrogène un composé neutre, et les trois autres des gaz acides. Les trois derniers se combinent directement avec l'oxigène, et les composés qui en résultent sont acides.

6e GENRE. — *Arsénides* (*phosphore, arsenic, azote*); forment des composés gazeux et basiques avec l'hydrogène, et des composés acides avec l'oxigène.

IIe ORDRE. — LEUCOLYTES; corps ne formant de gaz permanens avec aucun autre corps; fusibles au-dessous de 25° p., et ne donnant en se dissolvant dans les acides incolores que des sels sans couleur.

7e GENRE. — *Cassitézides* (*antimoine, étain, zinc, cadmium*); leurs oxides sont décomposables par le carbone au rouge, et indécomposables par l'iode; forment avec les chlorides des combinaisons volatiles acides; facilement oxidables : oxides peu basiques ou acides.

8e GENRE. — *Argyrides* (*bismuth, mercure, argent, plomb*); oxides réductibles par l'iode et par l'hydro-

gène : ceux des deux derniers métaux sont très basiques.

9e GENRE. — *Théphralides* (*potassium, sodium, lithium*); oxides très basiques décomposés par l'iode, non par l'hydrogène; très légers, formant avec l'azote et l'hydrogène des composés solides.

10e GENRE. — *Calcides* (*barium, strontium, calcium; magnésium*); oxides décomposés par le chlore, mais non par l'iode et par le carbone; pouvant former des sels neutres.

11e GENRE. — *Zirconides* (*yttrium, glucinium, aluminium, thorinium, zirconium*); oxides indécomposables par le carbone, l'iode et le chlore; ne formant aucun sel neutre.

IIIe ORDRE. — CHOÏCOLITES; corps ne formant de gaz permanent avec aucun autre, infusibles au-dessous de 25° p., formant, la plupart, des sels colorés avec les acides incolores.

12e GENRE. — *Cérides* (*cérium, manganèse*); protoxides donnant des sels incolores; peroxides donnant des sels colorés et du chlore avec l'acide hydrochlorique.

13e GENRE. — *Sidérides* (*fer, cobalt, nickel, cuivre*); fusibles au-dessous de 150° p.; oxides facilement réductibles par le charbon, donnant tous des sels colorés ayant une grande tendance à former des sels doubles, peroxides non acides.

14e GENRE. — *Chrysides* (*palladium, platine, or, iridium, rhodium, osmium*); métaux électro-négatifs, excessivement difficiles à fondre, excepté l'or; inattaquables par les acides oxigénans, excepté le palladium, qui se dissout dans l'acide nitrique; oxides réductibles par la chaleur, excepté les oxides d'osmium. Les trois derniers métaux s'oxident par le grillage; les trois premiers ne s'oxident pas. Ils sont tous attaqués par le chlore; leurs chlorures ont grande tendance à se combiner avec les chlorures alcalins.

15e GENRE. *Chrónides* (*chrôme, vanadium, molyb-*

dène, tungstène, urane, titane, tantale); métaux infusibles, électro-négatifs. La plupart de leurs oxides jouent le rôle d'acides. Les oxides de tungstène, de molybdène et d'urane sont réductibles par cémentation; ceux des autres métaux ne le sont pas.

Les métaux des 12e et 13e genres sont électro-positifs; ceux des 14e et 15e genres sont électro-négatifs. Il y a de l'analogie entre les chrômides et plusieurs chrysides, et particulièrement entre le molybdène et l'osmium.

Caractères des métaux. — Dans l'acception vulgaire, tout corps opaque et doué d'un éclat particulier dont tout le monde se fait une idée, et que l'on désigne par l'expression d'*éclat métallique*, est un métal. D'après cette définition, le tellure, l'arsenic, etc., seraient des métaux, et cette classe renfermerait des corps qui diffèrent extrêmement les uns des autres par l'ensemble de leurs propriétés; on ne saurait même où en fixer la limite. Effectivement on sait que plusieurs métaux, lorsqu'ils sont réduits en feuilles très minces, laissent passer la lumière, l'or par exemple : l'or et le sélénium sont en même temps transparens et doués de l'éclat métallique; l'iode jouit aussi de cet éclat; le phosphore, habituellement transparent, prend dans quelques circonstances de l'opacité et l'aspect métallique; le carbone, tantôt transparent et limpide, et tantôt d'un noir foncé et opaque, se présente quelquefois avec l'éclat métallique, et il est conducteur de l'électricité comme les métaux; enfin il y a des pierres qui ont l'apparence des métaux, par exemple les micas, les diallages.

Lorsqu'on étudie les corps simples d'après l'ensemble de leurs propriétés, on est bientôt conduit à reconnaître que l'éclat métallique n'est pas propre à caractériser une classe, et que c'est une propriété accidentelle que des circonstances, qui ne sont pas encore toutes connues, font naître ou détruisent, exaltent ou affaiblissent. Néanmoins il y a une classe de corps à laquelle on peut conserver le nom de *classe des métaux*, parce que tous ceux qu'elle renferme sont doués de l'éclat métallique :

elle comprend les leucolithes et les croïcolithes ; mais il ne faut pas perdre de vue que plusieurs des corps qui ne font pas partie de cette classe possèdent aussi cet éclat.

Classification vulgaire. — On divise généralement la classe des métaux en deux sections : 1°. celle des *métaux alcalins et terreux ;* et 2°. celle des *métaux proprement dits.* C'est des corps métalliques de cette seconde section que nous avons à nous occuper.

Métaux proprement dits.

Ces corps sont à peu près opaques, doués de l'éclat métallique, beaucoup plus lourds que l'eau : ils ne forment pas de gaz permanens avec l'oxigène ; leurs oxides sont réductibles par le charbon à la faveur d'une température plus ou moins élevée : ceux des oxides dont la réduction complète est difficile sont de la classe des croïcolithes.

Classification sous le rapport des essais par la voie sèche. — Les métaux proprement dits sont au nombre de vingt-sept. Sous le rapport de la manière dont ils se comportent dans les essais par la *voie sèche,* on peut les classer comme il suit :

- Oxidables et fixes.
  - Infusibles.
    - Irréductibles par cémentation.
      - Chrôme.
      - Palladium.
      - Tantale.
      - Titane.
      - Cérium.
    - Réductibles par cémentation.
      - Molybdène.
      - Tungstène.
      - Urane.
  - Fusibles.
    - Irréductibles au contact de la silice.
      - Manganèse.
    - Réductibles au contact de la silice.
      - Fer.
      - Cobalt.
      - Nickel.
      - Cuivre.
      - Étain.

Oxidables et volatils.	Non Distillables.	Plomb. Bismuth. Antimoine.
	Distillables.	Zinc. Cadmium. Mercure.
Non oxidables ou peu oxidables.	Fusibles.	Argent. Or.
	Infusibles.	Platine. Palladium. Rhodium. Iridium. Osmium.

Il n'y a réellement possibilité de doser, d'une manière directe, par la *voie sèche*, que les métaux oxidables, fusibles et réductibles au contact de la silice, volatils ou non, et les métaux non oxidables et fusibles, c'est-à-dire le fer, le cobalt, le nickel, l'étain, le cuivre, le plomb, le bismuth, l'antimoine, le zinc, le cadmium, le mercure, l'argent et l'or. Néanmoins nous traiterons de tous les métaux, parce qu'il importe au docimasiste et au métallurgiste de connaître leurs propriétés; nous indiquerons la manière dont se comportent dans les essais ceux que l'on ne peut pas doser par la *voie sèche*, et nous donnerons les moyens de les obtenir à l'état de pureté.

Considérons d'abord les métaux dans leurs propriétés générales.

ARTICLE II. — *Propriétés physiques. Atomes.*

État. — Les métaux sont tous solides à la température ordinaire de l'atmosphère, à l'exception du mercure.

Éclat. — Ils jouissent de l'éclat métallique, mais à des degrés très différens. Par rapport à cette propriété, M. Leslie les range dans l'ordre suivant :

Platine,
Acier,

Argent,
Mercure,
Or,
Cuivre,
Étain,
Plomb.

Lorsqu'ils ont été réduits en particules très ténues, soit par trituration, soit à l'aide de la lime; lorsque leurs vapeurs ont été subitement condensées, ou lorsqu'ils ont été tumultueusement précipités d'une dissolution, ils perdent souvent leur éclat, mais ils conservent toujours leur couleur : les métaux ductiles reprennent leur éclat par le frottement. Il y a aussi quelques pierres qui sont douées de l'éclat métallique, mais elles le perdent par la trituration, et en même temps leurs couleurs deviennent beaucoup plus claires ou disparaissent même tout-à-fait.

Opacité. — Tous les métaux sont opaques, même lorsqu'ils sont réduits en feuilles très minces ou lorsqu'ils sont fondus; cependant l'or battu, et amené à n'avoir que $\frac{1}{200,000}$ de pouce d'épaisseur, laisse passer la lumière verte, et il y a lieu de penser que tous les métaux colorés seraient également transparens, si l'on pouvait les obtenir en particules excessivement minces.

Couleur. — La couleur du plus grand nombre des métaux est le blanc-gris. L'argent est d'un blanc pur; l'étain, le cadmium, le platine, le palladium, le mercure, l'iridium, sont d'un blanc un peu nuancé de gris; l'antimoine est d'un blanc un peu bleuâtre; le cobalt, le nickel, le fer, le manganèse, le rhodium, sont d'un blanc plus gris encore; le plomb et le zinc sont d'un gris bleuâtre; le chrôme, le molybdène et le tungstène sont d'un gris pur; l'urane est brun, l'or est jaune, le cuivre est d'un jaune rougeâtre, le titane est rouge jaunâtre, et le tantale paraît avoir la même couleur.

Odeur. — Il y a un certain nombre de métaux, tels que le plomb, l'étain, le cuivre, le fer, qui développent une odeur particulière à chacun, et désagréable, lorsqu'on les frotte ou lorsqu'on les humecte avec l'haleine. Quel-

ques-uns ont une odeur prononcée quand ils sont réduits en vapeurs : l'antimoine, par exemple, exhale l'odeur de la graisse brûlée ; mais la plupart des autres métaux sont inodores.

Saveur. — Quelques-uns, mais en petit nombre, ont une saveur sensible et très désagréable.

Densité. — Les métaux sont les plus lourds de tous les corps ; leur densité augmente toujours un peu par l'écrouissage. La densité du plus pesant, le platine, est près de quatre fois aussi grande que celle du plus léger, le tantale.

Tableau de la densité des métaux.

Platine.....	22,069	Cuivre en fil.	8,879
Or.....	19,361	Nickel.....	8,279
Iridium.....	18,680	Cobalt.....	7,812
Tungstène.....	17,600	Molybdène..	8,611
Mercure.....	13,548	Manganèse..	7,050 à 8,0
Palladium.....	11,300	Fer en barre.	7,788
Plomb.....	11,352	Zinc.....	7,191 au plus
Rhodium.....	10,649	Étain fondu.	7,299
Argent fondu.....	10,474	Antimoine...	6,720
Bismuth.....	9,880	Chrôme....	5,900
Urane.....	8,100	Tantale.....	5,610 ?

Dureté. — Il y a des métaux très mous, l'étain, le plomb, le zinc ; mais il y en a d'extrêmement durs : le fer combiné avec une petite quantité de carbone raie tous les corps.

Fragilité. — Il y a des métaux qui se brisent lorsqu'on les frappe ; il en est d'autres qui s'aplatissent plus ou moins en même temps qu'ils se gercent ; enfin il y en a qui sont susceptibles de s'étendre presque indéfiniment sous le choc ou par la pression, en prenant toutes sortes de formes. On appelle les premiers *métaux fragiles* ou *métaux imparfaits ;* les seconds *métaux demi-ductiles* ou *demi-métaux ;* et les troisièmes *métaux ductiles* ou *métaux parfaits.* On distingue la ductilité en *ductilité* proprement dite et *malléabilité.*

Ductilité, malléabilité. — La ductilité est la propriété qu'ont les métaux de s'allonger lorsqu'on les étire en les passant à travers la filière; la malléabilité est la propriété qu'ils ont de changer de forme et de s'étendre en feuilles sous le choc du marteau ou par la pression du laminoir. Les métaux n'occupent pas le même rang par rapport à la ductilité et à la malléabilité, ainsi que le fait voir le tableau suivant :

Ordre de ductilité.	Ordre de malléabilité.
Or,	Or,
Argent,	Argent,
Platine,	Cuivre,
Fer,	Étain,
Cuivre,	Platine,
Zinc,	Plomb,
Étain,	Zinc,
Plomb.	Fer.

La ductilité et la malléabilité sont en général considérablement augmentées par la chaleur, mais seulement jusqu'à un certain terme. Il y a des métaux qui ne sont malléables qu'entre deux degrés de température très rapprochés : tel est le zinc, par exemple.

Ténacité. — La ténacité est la force qui s'oppose à la rupture. Cette force est très différente dans les différens métaux : on en a la comparaison en recherchant les poids qui sont nécessaires pour rompre des fils d'un même diamètre. On a trouvé, pour un certain nombre de métaux, que des fils de 2 millimètres de diamètre rompent sous les poids suivans :

Fer.....	249^{k},159
Cuivre.....	137 ,399
Platine.....	124 ,000
Argent.....	85 ,062
Or.....	68 ,216
Étain.....	24 ,200
Zinc.....	12 ,720

Recuit. — Les métaux perdent une partie de leur

ténacité par le martelage et l'étirage, mais ils la reprennent par le recuit, c'est-à-dire en les faisant chauffer jusqu'à un certain degré de chaleur, et les laissant ensuite refroidir lentement.

On voit que parmi les métaux ductiles ceux qui le sont le plus sont ceux qui ont le moins de dureté et de ténacité; ces trois propriétés sont évidemment liées entre elles par certains rapports.

Élasticité, sonorité. — Les métaux sont en général d'autant plus élastiques et plus sonores qu'ils ont plus de dureté. Il n'y a pas de métaux très élastiques et très sonores par eux-mêmes, mais il y a des alliages qui le sont beaucoup, par exemple ceux d'étain et de cuivre.

Structure. — La structure des métaux est tantôt lamelleuse, tantôt grenue, à grains plus ou moins gros; ces grains sont souvent comme crochus, particulièrement dans les métaux ductiles. La cassure des métaux n'est jamais conchoïde ni vitreuse. Parmi les métaux ductiles il y en a quelques-uns qui prennent un tissu fibreux lorsqu'ils sont martelés.

Formes cristallines. — Beaucoup de métaux sont susceptibles de prendre des formes cristallines régulières. On les obtient cristallisés par un des moyens suivans: 1°. en les laissant refroidir lentement après les avoir fait fondre; 2°. en les condensant après les avoir réduits en vapeurs; 3°. en les précipitant de leurs dissolutions par des métaux plus oxidables qu'eux; 4°. en décomposant leurs dissolutions étendues par l'action d'un pile électrique faible : le métal se dépose alors en petits cristaux brillans sur le conducteur négatif.

Cristallisation. C'est le procédé de la fusion qui donne les cristaux les plus gros. Il consiste à faire fondre le métal, à le laisser refroidir lentement, et à vider le vase qui le contient avant que la solidification soit complète. Pour les métaux très fusibles, on les fait fondre dans un creuset de terre ou dans une cuillère de fer, et lorsqu'il s'est formé à la surface de la masse soumise au refroidissement, une croûte un peu épaisse, on perce

cette croûte avec un fer rouge, et l'on transvase sur-le-champ la portion encore liquide qui occupe le centre. Lorsqu'on opère sur un métal difficilement fusible, on le fait fondre dans un creuset auquel on a pratiqué, vers la partie inférieure, une ouverture que l'on bouche avec une tige de fer ou avec un tampon d'argile mêlée de charbon, et lorsque le refroidissement est en partie opéré, on débouche le creuset pour en faire écouler la partie de matière encore liquide. Dans l'un et l'autre cas on trouve les parois du vase tapissées d'une croûte hérissée de cristaux.

Structure mise à nu.

Les masses métalliques quelconques dans lesquelles on n'aperçoit aucun indice de cristallisation ne sont cependant formées que de l'assemblage d'une multitude de petits cristaux; on en acquiert la preuve en plongeant ces masses dans un acide capable de les attaquer. Cet acide enlève une couche de petits cristaux, et ceux dans lesquels ils étaient enchevêtrés, étant alors mis à nu, deviennent parfaitement visibles. C'est ainsi que l'on obtient sur l'étain fondu ou sur le fer-blanc non martelé ce que l'on appelle le *moiré métallique*. M. Daniel a fait voir que par ce moyen on peut aisément reconnaître la structure intime d'un grand nombre de métaux, et particulièrement celle du fer, et de ses combinaisons avec le carbone.

Conductibilité électrique. — Les métaux sont infiniment meilleurs conducteurs de l'électricité que tous les autres corps; le fer, par exemple, la conduit quatre cent millions de fois mieux que l'eau. Selon M. Becquerel, la faculté conductrice de fils de même grosseur est, pour les métaux principaux, telle qu'il suit:

Cuivre.....	10000	Fer.....	1580
Or.....	9360	Étain.....	1550
Argent.....	7360	Plomb.....	830
Zinc.....	2850	Mercure.....	345
Platine.....	1880	Potassium.....	133

Pour un même métal, la faculté conductrice est inverse de la longueur des fils à diamètre égal; et à

longueurs égales, elle est proportionnelle aux masses, et non pas aux surfaces. L'élévation de température détruit cette faculté, et l'abaissement l'augmente. Le charbon fortement chauffé conduit aussi l'électricité, mais cependant plusieurs millions de fois moins facilement que le fer et le platine qui sont les métaux les moins bons conducteurs.

Magnétisme. — Il n'y a que trois métaux qui soient habituellement doués de la vertu magnétique : ce sont le fer, le cobalt et le nickel ; mais le manganèse en jouit aussi au-dessous d'un certain degré de température très inférieur à zéro.

Conductibilité pour le calorique. — Les métaux sont de tous les corps simples les meilleurs conducteurs du calorique. Selon M. Despretz, la faculté conductrice de quelques métaux est telle qu'il suit, comparativement entre eux et à quelques autres substances :

Or.....	10000	Étain.....	3039
Argent.....	9730	Plomb.....	1796
Platine.....	9810	Marbre.....	236
Cuivre.....	8932	Porcelaine.....	122
Fer.....	3743	Terre à briques..	114
Zinc.....	3638		

Capacité pour le calorique. — MM. Petit et Dulong ont déterminé par des expériences faites avec une très grande précision la capacité calorifique d'un grand nombre de métaux, pour 1° du thermomètre centigrade, celle de l'eau étant prise pour unité.

Voici leurs résultats :

Bismuth.....	0,0288	Tellure.....	0,0912
Plomb.....	0,0293	Cuivre.....	0,0949
Or.....	0,0298	Fer.....	0,1000
Platine.....	0,0314	Nickel.....	0,1035
Mercure.....	0,0330	Cobalt.....	0,1498
Étain.....	0,0515	Verre.....	0,1770
Argent.....	0,0557	Soufre.....	0,1880
Zinc.....	0,0927		

Pour un même nombre de degrés la capacité augmente

sensiblement avec la température : ainsi pour 1° la capacité du fer est de 0,1000 de 0° à 100°, de 0,1150 de 0° à 250° et de 0,1255 de 0° à 350°.

MM. Petit et Dulong déduisent de leurs expériences ce principe important que les atomes de tous les corps ont la même capacité pour le calorique, ou du moins que cette capacité est dans un rapport très simple avec le poids des atomes.

Dilatabilité. — Aussitôt que le calorique pénètre les métaux, et avant de les fondre, il les dilate dans tous les sens. Cette dilatation est différente pour chacun d'eux. Pour un même métal elle varie aussi par chaque degré de l'échelle thermométrique : cependant de 0° a 100° on peut la regarder comme à peu près constante : dans cet intervalle la dilatation linéaire est telle qu'il suit pour les principaux métaux, d'après Laplace et Lavoisier, et d'après Dalton et Davy :

	Laplace et Lavoisier.		Dalton et Davy.
Zinc.....	.....	——	0,00296
Plomb.....	0,00285	——	.....
Étain fin.....	0,00217	——	0,00278
Argent fin.....	0,00191	——	0,00238
Cuivre jaune.....	0,00188	——	0,00180
Cuivre rouge.....	0,00172	——	0,00170
Or de départ.....	0,00147	——	0,00194
Acier trempé.....	.....	——	0,00112
Fer.....	0,00122	——	0,00126
Acier non trempé...	0,00108	——	.....
Platine.....	0,00086	——	0,00087
Mercure.....	.....	——	0,00835
Verre.....	0,00089	——	0,00083

La dilatation en surface est exprimée par des nombres doubles, et la dilatation en volume, par des nombres triples.

Fusibilité. — Le degré de fusibilité des métaux est très varié, il y en a qu'on ne peut fondre qu'à l'aide de fortes lentilles ou au chalumeau à gaz oxigène : tels sont le platine, le palladium, le rhodium, l'iridium, etc., et seulement en très petites quantités. Le manganèse

ne se fond qu'à la plus haute température des fourneaux d'essai; température qui doit approcher de 180° p. Le fer, le cobalt et le nickel fondent à la température d'environ 160° p.; l'or à 32°, le cuivre à 27°, l'argent à 22°; l'antimoine à environ 432° du thermomètre centigrade, le plomb à 322°, l'étain à 288°, le bismuth à 247°, et le mercure à — 38°.

Contraction, expansion. — La plupart des métaux diminuent de volume en passant de l'état liquide à l'état solide; cependant il y en a quelques-uns qui se dilatent au contraire au moment où ils se solidifient; la fonte de fer, l'antimoine, le bismuth et le zinc sont dans ce cas.

Volatilité. — Les métaux difficilement fusibles, et quelques-uns de ceux qui se fondent aisément, sont fixes à la température de nos fourneaux; les autres se volatilisent à des degrés de température différens. Les métaux les plus volatils sont le mercure, le zinc, le cadmium et l'antimoine; le bismuth et le plomb le sont moins, le cuivre et l'argent le sont très peu; mais la plupart des autres se volatilisent et brûlent dans l'air lorsqu'on les chauffe au chalumeau à gaz oxigène.

Atomes. — Le tableau suivant fait connaître les nombres qui ont été adoptés par M. Berzelius pour représenter les poids atomiques des métaux, ainsi que les caractères dont on se sert pour désigner ces métaux.

Urane.....	U	2711,358	Cadmium...	Cd	696,767
Argent.....	Ag	1351,607	Palladium...	Pd	665,899
Bismuth....	Bi	1330,377	Rhodium...	R	651,367
Plomb.....	Pb	1294,498	Molybdène...	Mo	598,520
Mercure....	Hg	1265,823	Cérium.....	Ce	576,696
Osmium....	Os	1244,487	Zinc.....	Zn	403,226
Or.....	Au	1243,013	Cuivre.....	Cn	395,695
Platine.....	Pt	1233,499	Nickel.....	Ni	369,675
Iridium.....	Ir	1233,499	Cobalt.....	Co	368,991
Tungstène...	W	1183,000	Chrôme.....	Cr	351,815
Tantale.....	Ta	1163,715	Manganèse..	Mn	345,887
Vanadium...	V	855,640	Fer.....	Fe	339,205
Antimoine...	Sb	806,452	Titane.....	Ti	303,662
Étain.....	Sn	735,294			

ARTICLE III. — *Action des gazolites et de leurs composés sur les métaux, et des métaux les uns sur les autres.*

Genres de combinaisons. — Les métaux forment, avec les gazolites, des combinaisons très diverses.

1°. En se combinant un à un avec les métaux, les gazolites forment des composés de premier ordre : les *oxides*, les *sulfures*, les *chlorures*, etc.

2°. Ces composés du premier ordre peuvent se combiner avec un gazolite, autre que celui qu'il renferme, et donner naissance à une nouvelle série de combinaisons; mais ces combinaisons sont très peu nombreuses.

3°. Les composés du premier ordre en se combinant entre eux forment divers genres de composés du second ordre.

A. Les oxides en se combinant avec les combinaisons oxidées des gazolites produisent les *sels*.

B. Les oxides en se combinant entre eux ou avec l'eau forment des composés analogues aux sels.

C. Les composés de premier ordre contenant un même gazolite autre que l'oxigène, se combinent entre eux comme les oxides. Ces composés sont analogues aux sels; le gazolite y remplace l'oxigène; on peut les nommer en général *gazolures doubles*. On connaît des *sulfures*, *chlorures*, *cyanures* doubles, etc.; on les appelle aussi *sulfosels*, *chloro-sels*; *cyano-sels*, etc.

D. Les composés du premier ordre contenant le même métal et deux gazolites différens, se combinent fréquemment ensemble. On connaît des *oxi-sulfures*, des *oxichlorures*, des *sulfo-chlorures*, des *arsénio-sulfures*, etc.

E. Les composés du premier ordre contenant chacun un métal et un gazolite différens, se combinent aussi entre eux; mais les combinaisons qui en résultent n'ont encore été que peu examinées. On connaît, par exemple, beaucoup de composés de litharge et de sulfures.

F. Enfin on sait qu'il existe dans la nature des combinaisons de sels oxidés avec des gazolures, et l'on en a préparé artificiellement un assez grand nombre par *voie*

sèche. On connaît des *chloro-phosphates*, des *fluo-silicates*, etc.

4°. Les combinaisons que les métaux forment entre eux se nomment *alliages*. Les alliages de mercure portent le nom d'*amalgames*.

Nous allons examiner successivement, sous le point de vue général, ces diverses combinaisons, en groupant ensemble celles qui renferment les mêmes gazolites ; mais auparavant nous devons faire connaître sommairement l'action que ces corps, ainsi que leurs composés principaux, exercent sur les métaux.

§ 1er. — Oxigénans.

Oxigène. — Tous les métaux peuvent se combiner avec l'oxigène, la plupart en plusieurs proportions ; un certain nombre de ces combinaisons jouissent des propriétés acides. On peut oxider les métaux par l'action de l'oxigène, de l'air atmosphérique sec ou humide, des acides, des alcalis et des sels. Tous les métaux, à l'exception de l'or, du platine, du palladium et de quelques chrômides, sont oxidés par l'oxigène à l'aide d'une température plus ou moins élevée ; la combinaison a généralement lieu avec chaleur et lumière, et celle-ci est différemment colorée pour les différens métaux.

Air. — L'air sec agit sur les métaux à peu près comme l'oxigène, mais avec moins d'énergie : à la température ordinaire l'air humide est plus oxidant que l'air sec. Les métaux que l'on expose à son action se transforment en hydrates ou en carbonates : tels sont le manganèse, le fer, le zinc, l'étain, le cuivre, le plomb. Le plus souvent l'eau n'est pas décomposée, mais l'oxigène atmosphérique est attiré à la faveur de ce liquide. La présence d'un acide facilite considérablement encore l'absorption de l'oxigène atmosphérique par les métaux : ainsi si l'on mouille du fer avec un peu d'acide acétique étendu, du cuivre ou du plomb avec de l'acide sulfurique faible, il y a oxidation très prompte à la température ordinaire, sans qu'il y ait décomposition d'eau ni d'acide.

Eau. — Plusieurs métaux peuvent s'oxider en décomposant l'eau, les uns à la température ordinaire, comme le manganèse ; d'autres à une chaleur voisine du rouge, comme le fer, le cobalt, le nickel, le zinc, l'étain, l'antimoine. Le fer, le cobalt, le nickel et le zinc décomposent l'eau plus ou moins rapidement à la température ordinaire, lorsqu'il y a présence d'un acide un peu fort.

Acides. — Les acides oxigénés peuvent oxider un grand nombre de métaux par eux-mêmes, en se décomposant.

Carbonique. L'*acide carbonique* n'est décomposé par quelques métaux, le manganèse, le fer, le zinc, qu'à une température voisine du rouge.

Nitrique. L'*acide nitrique* attaque tous les métaux à froid, et beaucoup plus énergiquement à chaud, excepté les chrômides et les chrysides, encore le palladium est-il sensiblement attaqué. La température s'élève, et il se dégage soit de l'azote, soit de l'oxide d'azote, soit du deutoxide d'azote, qui en se répandant dans l'air produisent des vapeurs rutilantes d'acide nitreux. Lorsque le métal est très oxidable, comme l'étain, etc., l'acide et l'eau sont souvent décomposés en même temps, et alors il se produit de l'ammoniaque sans qu'il y ait dégagement sensible de gaz.

Sulfurique. L'*acide sulfurique* étendu dissout même à froid le manganèse, le fer et le zinc, le cobalt et le nickel, et détermine la décomposition de l'eau par ces métaux. L'acide sulfurique concentré attaque tous les métaux, excepté les chrômides et les chrysides, à la température voisine du degré de son ébullition ; il se dégage du gaz acide sulfureux et il se forme un sulfate.

Sulfureux. L'*acide sulfureux* liquide dissout le manganèse, le fer et le zinc sans dégagement de gaz ; l'acide est décomposé, et il se forme des hyposulfites et des sulfures.

Phosphorique. L'*acide phosphorique* liquide n'agit sur aucun métal qui ne décompose pas l'eau à la température ordinaire ; l'acide phosphorique vitreux est décomposé à la chaleur rouge par les métaux très oxidables.

Arsénique. L'*acide arsénique* agissant par *voie sèche* est plus

oxidant que l'acide phosphorique, il attaque un très grand nombre de métaux, même l'argent.

Organiques. Les *acides organiques* n'ont d'action que sur les métaux qui décomposent l'eau, ou bien en déterminant l'absorption de l'oxigène de l'air : ils ne sont pas oxidans par eux-mêmes.

Alcalis. — Les métaux électro-négatifs, même les chrysides, excepté l'or, s'oxident lorsqu'on les chauffe au rouge avec un alcali caustique; l'alcali n'est pas décomposé, mais le métal est oxidé par l'oxigène atmosphérique.

Carbonates. *Sels.* — Les *carbonates* oxident par *voie sèche* les métaux qui ont beaucoup d'affinité pour l'oxigène, tels que le manganèse, le fer, le zinc, l'étain, avec dégagement de gaz oxide de carbone.

Nitrates. Les *nitrates* attaquent presque tous les métaux à la chaleur rouge; ils n'attaquent sensiblement ni l'or ni l'argent.

Sulfates acides. Les *sulfates acides* à base d'alcali oxident par *voie sèche* beaucoup de métaux à la faveur de leur excès d'acide qui se change en acide sulfureux.

Chlorates. Les *chlorates* oxident les métaux à la chaleur rouge, à peu près comme le nitre; cependant ils n'agissent pas aussi énergiquement que ce sel sur les métaux électro-négatifs, parce qu'en se décomposant ils ne laissent pas, comme lui, un alcali libre qui puisse se combiner avec l'oxide formé.

Les métaux très oxidables s'oxident beaucoup plus facilement à l'air lorsqu'ils sont humectés avec une dissolution saline faible, que lorsqu'ils sont mouillés avec de l'eau pure.

Les dissolutions salines des métaux précipitables à l'état métallique convertissent en oxides, qui restent dissous, les métaux que précipite le métal que renfermait le sel.

§ 2. — Hydrogénans.

L'*hydrogène* ne forme de combinaison avec aucun métal.

§ 3. — Sulfurans.

Soufre. — Le soufre se combine directement avec la plupart des métaux, en produisant de la chaleur et de la lumière; avec le platine, le palladium et le rhodium, il ne se dégage pas de lumière tant que le mélange est en contact avec l'air, mais si l'on chauffe ce mélange dans le vide, il devient lumineux. Les chrômides et l'or ne sont pas attaqués par le soufre.

Acide hydro-sulfurique. — L'acide hydro-sulfurique gazeux est décomposé à l'aide de la chaleur par les métaux très oxidables; il reste un volume d'hydrogène pur égal au sien, et il se forme un sulfure. L'acide liquide n'agit que faiblement sur les métaux; cependant il y en a un certain nombre qu'il ternit en les recouvrant d'une pellicule de sulfure, entre autres le mercure et l'argent.

Persulfures alcalins. — Les persulfures alcalins sulfurent quelques métaux par *voie humide;* ils les sulfurent tous sans exception par la *voie sèche,* et sont ramenés à un degré de sulfuration moins avancé. Ce sont les sulfurans les plus puissans que l'on connaisse. (*Voy.* page 416.)

§ 4. — Séléniurans, tellurans, phosphurans, arséniurans.

Sélénium. — Le sélénium agit sur les métaux à peu près comme le soufre, mais moins énergiquement.

Tellure. — Le tellure se combine directement avec beaucoup de métaux, même avec l'or; mais comme cette substance est fort rare, les tellurures sont peu connus.

Phosphore. — Le phosphore se combine directement avec un grand nombre de métaux; mais plusieurs de ses combinaisons sont peu stables.

Arsenic. — L'arsenic se comporte avec les métaux à peu près comme le phosphore; mais ses combinaisons sont moins facilement décomposables par la chaleur.

§ 5. — Chlorurans.

Chlore. — Le chlore gazeux, à l'aide d'une tempé-

rature plus ou moins élevée, exerce sur les métaux une action très vive : il attaque le manganèse et le tungstène au rouge obscur; le fer, le cobalt, le nickel, le cuivre, l'antimoine, l'étain, le zinc, le plomb, l'argent et l'or, à la chaleur rouge; il attaque à peine le platine au degré de la fusion du verre; au contraire il se combine avec le mercure, même à la température ordinaire. Il y a dans la plupart de ces combinaisons dégagement de chaleur et production de lumière diversement colorée.

Acide hydrochlorique. — L'acide hydrochlorique gazeux convertit en chlorures, mais seulement à l'aide de la chaleur, le manganèse, le fer, le zinc et l'étain : il ne se dégage pas de lumière ; l'acide décomposé abandonne un volume d'hydrogène égal au sien. L'acide liquide dissout les mêmes métaux avec dégagement de gaz hydrogène ; lorsqu'il est concentré et chaud, il attaque en outre, mais lentement et faiblement, l'antimoine, le bismuth et le cuivre.

Eau régale. — On appelle *eau régale* un mélange d'acide nitrique et d'acide hydrochlorique. Ce mélange attaque tous les métaux, excepté quelques chrômides et quelques chrysides : son action est en général très vive. La présence du métal détermine la réaction des deux acides l'un sur l'autre, et il en résulte du gaz nitreux qui se dégage, et du chlore qui reste en partie combiné avec le métal. Lorsque l'acide nitrique est en excès, et quand le métal est très oxidable, tout le chlore se dégage, et il se forme un nitrate. On voit d'après cela que l'eau régale est, selon les circonstances, un chlorurant ou un oxidant très énergique. C'est le plus puissant dissolvant pour les métaux.

Sel ammoniac. — Le sel ammoniac transforme beaucoup de métaux en chlorures à l'aide de la chaleur, avec dégagement de gaz hydrogène et d'ammoniaque.

§ 6. — Brômurans.

Bróme. — Le brôme se comporte avec les métaux à peu près comme le chlore : il attaque le mercure sans

émission de lumière; il dissout l'or, mais il est sans action sur le platine.

Acide hydro-brômique. — L'acide hydro-brômique dissout le manganèse, le fer, le zinc et l'étain avec dégagement d'hydrogène : il n'attaque pas le mercure.

§ 7. — Iodurans.

Iode. — L'iode se comporte avec la plupart des métaux comme le chlore; mais son action est beaucoup moins forte : il n'attaque pas l'or. L'acide hydriodique dissout les mêmes métaux que l'acide hydro-chlorique, et même le mercure.

§ 8. — Fluorurans.

Fluor. — On n'a pas obtenu le fluor à l'état isolé, parce que ses affinités sont trop énergiques : il attaque tous les métaux.

Acide hydro-fluorique. — L'acide hydro-fluorique dissout les métaux facilement oxidables et les chrômides; il attaque même les autres plus ou moins fortement; aussi est-on obligé, pour le conserver, de se servir d'argent pur, et encore est-il nécessaire de l'étendre d'eau.

Acide nitro-fluorique. — L'acide nitro-fluorique est analogue à l'eau régale; mais c'est un dissolvant beaucoup plus puissant : il attaque tous les métaux, et principalement les chrômides.

§ 9. — Borurans, siliciurans.

Bore, silicium. — Le bore et le silicium peuvent se combiner directement avec quelques métaux, mais leur action est faible.

Acide borique, silice. — Lorsqu'on chauffe à une très haute température de l'acide borique ou de la silice mêlés de charbon, avec un métal, celui-ci retient quelquefois un peu de bore ou de silicium en combinaison.

§ 10. — Carburans.

Le *carbone* ne se combine directement qu'avec un

petit nombre de métaux, en très faible proportion, et seulement à l'aide d'une très haute température; mais on obtient des carbures métalliques de composition variée, en calcinant en vases clos des cyanures ou des sels organiques.

§ II. — Métaux.

Métaux. — Presque tous les métaux sont susceptibles de se combiner ou de se mélanger intimement les uns avec les autres, deux à deux, trois à trois, et en plus grand nombre. Il en résulte un nombre infini de combinaisons qui ne sont pas toujours assujetties à la loi des proportions définies; mais on n'en a encore examiné qu'un petit nombre. Lorsque l'on combine ensemble des métaux qui ont beaucoup d'affinité l'un pour l'autre, on remarque qu'il y a dégagement de chaleur et de lumière comme dans une combustion; c'est ce que l'on peut observer, par exemple, dans les fabriques de laiton, quand on allie le cuivre avec le zinc.

Il y a des métaux qui refusent absolument de se combiner, même lorsqu'on les expose ensemble à une très haute température, par exemple le fer avec le plomb, l'argent ou le cuivre, le cobalt et le nickel avec le plomb ou avec l'argent, etc.

ARTICLE IV. — *Composés oxigénés.*

§ 1er. — Oxides et hydrates.

Éclat. *Caractères.* — Les oxides sont tous solides. Il n'y en a qu'un très petit nombre qui jouissent de l'éclat métallique : tels sont le deutoxide et le peroxide de manganèse natifs, les oxides de fer magnétiques et le peroxide natif, l'oxide de titane; ils perdent cet éclat par la trituration.

Couleur. Leur couleur est en général différente de celle du métal qui les produit : cette couleur est souvent très belle et très éclatante; aussi cette classe de corps fournit-elle des matériaux précieux à la peinture. Leur densité est toujours moindre que celle du métal qui leur

sert de base; mais quelquefois elle lui est presque égale.

Les oxides sont inodores, excepté ceux d'osmium et d'antimoine à l'état de vapeurs. Il y en a plusieurs, même parmi ceux qui sont insolubles, qui ont de la saveur, surtout lorsqu'ils sont à l'état d'hydrates : cette saveur est faible, mais très désagréable. Beaucoup sont des poisons violens. Quelques-uns sont employés comme médicamens. Odeur. Saveur.

Action de la chaleur. — Il y a un très grand nombre d'oxides qui sont fusibles à la température de nos fourneaux; ils cristallisent en se refroidissant. On remarque qu'en général ceux qui contiennent un métal très fusible sont aisément fusibles eux-mêmes; mais il y a des exceptions, l'oxide de zinc, le deutoxide d'étain, l'acide antimonieux. Fusibilité.

Tous les oxides sont fixes ou à peu près fixes, même ceux qui contiennent des métaux très volatils, à l'exception du protoxide d'antimoine, de l'acide molybdique et du peroxide d'osmium. Fixité.

Réductibilité. — La chaleur réduit complètement les oxides d'argent et de mercure et les oxides des chrysides, à l'exception de ceux d'osmium. Elle amène à un moindre degré d'oxidation les peroxides et deutoxides de chrôme, de manganèse, de cobalt, de nickel, de plomb, etc.

La lumière réduit peu à peu quelques oxides, par exemple ceux d'or et d'argent. Lumière.

Grillage. — Beaucoup de protoxides absorbent une nouvelle dose d'oxigène lorsqu'on les grille à un certain degré de chaleur. Quelques-uns absorbent même l'oxigène atmosphérique à la température ordinaire, lorsqu'ils sont à l'état d'hydrates.

Action des gazolites. — Le carbone mélangé intimement avec les oxides les réduit complètement presque tous, à une température plus ou moins élevée; quelques-uns, comme ceux de manganèse, ne sont amenés qu'à l'état de protoxide au blanc naissant. Carbone.

Hydrogène. Les oxides de fer, et les oxides de tous les métaux qui ont moins d'affinité pour l'oxigène que ce métal, sont réduits par le gaz hydrogène à la chaleur blanche : les métaux ainsi obtenus, lorsqu'ils sont pulvérulens, ont la propriété de s'enflammer au contact de l'air. Le gaz hydrogène ne réduit pas complètement les oxides de chrôme, de titane, de tantale, de cérium, de manganèse ni de zinc.

Soufre. Les oxides réductibles par l'hydrogène le sont aussi par le soufre, à l'aide de la chaleur; il se dégage du gaz sulfureux, et il se forme un sulfure. La réduction se fait plus facilement en substituant le sulfure de mercure au soufre, parce que la réaction peut avoir lieu à une température plus élevée. Le sulfure de carbone en vapeurs réduit et change en sulfures tous les oxides métalliques, même l'oxide de titane. Les persulfures alcalins opèrent la même transformation à l'aide d'une chaleur plus ou moins forte; à l'état liquide ils dissolvent presque tous les oxides des métaux électro-négatifs, en les amenant également à l'état de sulfures.

Phosphore. Arsenic. Le phosphore et l'arsenic transforment tous les oxides, excepté ceux des chrômides, en phosphures souvent mélangés de phosphates, et en arséniures.

Chlore. Le chlore transforme en chlorures, au-dessous de la chaleur rouge, les oxides de cuivre, d'antimoine, d'étain, de bismuth, de plomb et d'argent; au-dessus de la chaleur rouge, les oxides de cobalt et de nickel : il y a dégagement d'oxigène. Il change en un mélange de chlorure et de peroxide les oxides de fer magnétique, et il n'attaque pas le peroxide. Il transforme en chlorures tous les oxides, sans exception, lorsque ces oxides sont mêlés de charbon. Par *voie humide*, le chlore décompose tous les oxides qui ne sont pas saturés d'oxigène; de telle manière qu'une portion du métal se combine avec lui, et que l'oxigène qui se sépare se porte sur une autre portion de l'oxide avec lequel il se combine. Le chlore dissout aussi un grand nombre d'oxides lorsqu'ils sont saturés d'oxigène, et il paraît former avec eux des combinaisons

analogues à celles qu'il donne avec les terres alcalines; mais ces combinaisons n'ont pas encore été convenablement examinées. La plupart des oxides sont décomposés par le sel ammoniac, et amenés à l'état de chlorures à l'aide d'une chaleur peu élevée, et souvent le chlorure retient en combinaison une certaine quantité de sel ammoniac, que l'on ne peut en séparer qu'en chauffant fortement. Lorsque le chlorure qui se forme correspond à l'oxide, il ne se dégage que de l'ammoniaque et de l'eau; mais quand ce chlorure est inférieur à l'oxide, il y a dégagement d'azote. L'excès de sel ammoniac, en se sublimant, entraîne toujours avec lui une grande quantité de chlorure métallique, lorsque celui-ci est volatil.

Action des métaux. — Le manganèse, le fer, le zinc et l'étain réduisent les oxides de presque tous les autres métaux, excepté ceux des chrômides, à l'aide de la chaleur. Par la *voie humide*, il y a treize métaux qui sont susceptibles d'être précipités, à l'état métallique, de leurs dissolutions, par d'autres métaux plus oxidables : ce sont le zinc, l'antimoine, le plomb, l'étain, le cuivre, le bismuth, le mercure, l'argent et les cinq chrysides.

Action de l'eau. — Les oxides sont tous à peu près insolubles dans l'eau, excepté le peroxide d'osmium, l'acide chrômique, et les acides molybdique et molybdeux. Quelques-uns décomposent ce liquide à l'aide de la chaleur, en se suroxidant : tels sont les protoxides de fer, de manganèse, d'étain et de titane; les protoxides de fer et de titane le décomposent même à la température ordinaire. Tous sont susceptibles de se combiner avec l'eau lorsqu'ils sont à l'état naissant : ils constituent alors ce qu'on appelle des *hydrates*.

Action des acides. — Les acides ont une grande tendance à se combiner avec les oxides, surtout lorsqu'ils sont à l'état d'hydrates, pour former des sels. Il y a cependant quelques oxides qui n'ont qu'une affinité très faible pour les acides; il y en a d'autres qui ne s'y combinent qu'en abandonnant une certaine portion de leur oxigène; les peroxides de cérium, de manganèse, de

chrôme, etc., par exemple. On remarque que, parmi les différens oxides que peut former un métal, celui qui a le plus d'affinité pour les acides est presque toujours le moins oxigéné; mais quelquefois c'est l'oxide intermédiaire.

Carbonique. L'*acide carbonique* atmosphérique n'est absorbé que par les oxides qui sont des bases très fortes, comme l'oxide de plomb, les oxides de cobalt, de nickel à l'état d'hydrate, etc. Cet acide peut se combiner avec un plus grand nombre d'oxides lorsque ceux-ci se trouvent en sa présence à l'état naissant.

Nitrique. L'*acide nitrique* dissout la plupart des oxides, à l'exception des peroxides d'étain, d'antimoine, de plomb, de manganèse, etc.; il suroxide, à l'aide de la chaleur, les protoxides de fer, d'étain, de cuivre, de mercure, d'antimoine, de molybdène, etc. Il partage en deux oxides, savoir en protoxide qui se dissout et en peroxide insoluble, les deutoxides de plomb et de manganèse; il ramène à un moindre degré d'oxidation, avec dégagement d'oxigène, les deutoxides de cobalt, de nickel, de cérium, etc.

Sulfurique. L'*acide sulfurique* a une grande tendance à se combiner avec les oxides; cependant il agit peu sur plusieurs peroxides; à moins que la température ne soit élevée, auquel cas il en ramène quelques-uns à un moindre degré d'oxidation. Au contraire, lorsqu'il est concentré et bouillant, il suroxide quelques protoxides en se décomposant, comme les protoxides de fer et de mercure.

Sulfureux. L'*acide sulfureux* peut se combiner avec un grand nombre d'oxides, et il ramène beaucoup de peroxides au *maximum* d'oxidation, avec formation de sulfate ou d'hyposulfate.

Hydro-sulfurique. L'*acide hydro-sulfurique* gazeux transforme un grand nombre d'oxides en sulfures à l'aide de la chaleur, et souvent même à froid.

Phosphorique. L'*acide phosphorique* se combine avec tous les oxides par la *voie sèche*.

Arsénique. L'*acide arsénique* se comporte à peu près comme

l'acide phosphorique ; mais comme il est plus facilement décomposable, il arrive quelquefois qu'il suroxide des protoxides, ou qu'il se transforme en acide arsénieux et en gaz oxigène avant que la combinaison puisse avoir lieu.

L'*acide muriatique* agit sur les oxides comme acide très puissant. Il les dissout presque tous, et avec beaucoup de peroxides il y a dégagement de chlore. Il est naturel de considérer la plupart de ces dissolutions comme des chlorures ; cependant il y a lieu de croire qu'avec les oxides difficilement réductibles, comme l'oxide de titane, il se forme des hydro-chlorates d'oxides. Le même acide à l'état gazeux change la plupart des oxides en chlorures à l'aide de la chaleur, avec formation d'eau. Muriatique.

L'*acide hydro-fluorique* est de tous les acides celui qui agit le plus énergiquement sur les oxides ; il attaque et dissout même les oxides de titane et de tantale. Il est vraisemblable que, du moins dans la plupart des cas, il se forme des fluorures. Avec les peroxides de manganèse, de cobalt, de nickel, il y a dégagement d'oxigène. Fluorique.

L'*acide borique* employé par *voie humide*, n'a qu'une faible action sur les oxides, à moins qu'ils ne soient à l'état d'hydrate ; mais par *voie sèche* il forme avec la plupart des combinaisons très fusibles. Borique.

La *silice* ne se combine par *voie humide* avec les oxides, que lorsque les deux substances se trouvent en présence l'une et l'autre à l'état naissant ; mais par *voie sèche* elle entre en combinaison avec la plupart des oxides, même lorsque cette combinaison n'est pas fusible. Silice.

Action des alcalis. — La *potasse* et la *soude* caustiques se combinent avec plusieurs oxides métalliques, tantôt par la *voie humide*, tantôt par la *voie sèche*. Pour que la combinaison puisse avoir lieu par la *voie humide*, il faut presque toujours que l'oxide soit à l'état d'hydrate. Ces alcalis dissolvent facilement les Potasse. Soude.

oxides de zinc, d'étain, de plomb, et les acides chrômique, tungstique et molybdique. Ils forment par *voie sèche* des combinaisons insolubles avec les oxides de titane, de tantale, d'urane, etc.

Ammoniaque. L'*ammoniaque* dissout en grande quantité les oxides de zinc, de cuivre, d'argent, les acides chrômique, tungstique et molybdique, etc., et en moindre quantité les protoxides de manganèse, de fer, de nickel, de cobalt, etc.; le plus souvent, pour que la dissolution puisse avoir lieu, il faut que l'oxide soit à l'état d'hydrate récent. L'ammoniaque gazeuse réduit à l'aide de la chaleur tous les oxides, excepté ceux des chrômides; il se forme de l'eau, et le plus souvent il se dégage de l'azote; cependant avec les oxides faciles à réduire il se forme du deutoxide d'azote.

Action des oxides. — Les protoxides des métaux très oxidables réduisent les oxides des métaux très peu oxidables, comme ceux de mercure et d'or, et ramènent seulement à un moindre degré d'oxidation les oxides des métaux moyennement oxidables. Plusieurs oxides sont susceptibles de se combiner l'un avec l'autre, lorsqu'ils se trouvent en présence à l'état naissant. De là vient que quelques oxides non précipitables de leurs dissolutions par certains réactifs, le deviennent lorsque la liqueur renferme en même temps d'autres oxides. Deux oxides différens d'un même métal, étant chauffés ensemble, peuvent quelquefois former une combinaison analogue à un sel; par exemple, le protoxide et le peroxide de fer. Ces combinaisons ont cela de particulier qu'elles donnent avec les acides des mélanges de sels de protoxides et de peroxides.

Nitre. *Actions des sels.* — Le *nitre* et le *chlorate de potasse* suroxident par *voie sèche* tous les oxides qui peuvent produire des peroxides ou des acides permanens à la chaleur blanche.

Force des oxides. — Les oxides qui jouent le rôle des bases les plus fortes sont l'oxide d'argent, les protoxides de plomb, de fer, de manganèse, de cobalt,

de nickel, le deutoxide de mercure, l'oxide de zinc et le deutoxide de cuivre.

Composition. — Lorsqu'un même métal est susceptible de produire plusieurs oxides, les quantités d'oxigène que renferment ces différens oxides sont entre elles comme quelques-uns des nombres 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 et 16 : quand les rapports sont plus compliqués, c'est que l'un des oxides est une combinaison en proportions définies d'un oxide inférieur et d'un oxide supérieur.

Hydrates. — Les *hydrates* des oxides incolores sont eux-mêmes incolores; ceux des oxides colorés sont colorés aussi, mais leurs couleurs sont différentes de celles des oxides. Ces couleurs sont presque toutes très belles. Leur densité est plus grande que la moyenne de la densité de l'eau et de l'oxide, ce qui prouve que l'eau y est très condensée. Caractères.

Les hydrates sont en général très facilement décomposables par la chaleur; quelques-uns, par exemple l'hydrate de cuivre, se décomposent même dans l'eau bouillante. Ils sont tous beaucoup plus facilement attaquables par les acides et par les alcalis que leurs oxides. Ils ne se forment pas directement : on ne les obtient qu'en précipitant les dissolutions métalliques par les alcalis caustiques en excès. Propriétés.

L'eau peut se combiner en plusieurs proportions avec un même oxide; cependant, dans le plus grand nombre des hydrates, la quantité d'oxigène de l'oxide est à la quantité d'oxigène de l'eau :: 1 : 1, et par conséquent à la quantité d'eau :: 1 : 1,12479. Composition.

Les hydrates peuvent se combiner en proportions définies avec différens sels : on connaît des combinaisons d'hydrates et de carbonates, d'hydrates et de silicates, etc.

Les oxides étant en très grand nombre, on ne peut pas les obtenir tous par les mêmes procédés. Il y en a quelques-uns dont l'existence est certaine, et que cependant il est impossible d'avoir à l'état isolé; le protoxide de fer, par exemple. Préparation.

On les prépare chacun par l'un ou par quelques-uns des moyens suivans.

1°. On expose au contact de l'air un métal en fusion, et l'on enlève l'oxide à mesure qu'il se forme à la surface du bain (litharge, etc.).

2°. On grille, à une chaleur convenable, un oxide susceptible d'absorber encore de l'oxigène, en ayant soin de l'agiter continuellement (minium, peroxide de fer, etc.).

3°. On calcine à une température plus ou moins élevée les peroxides susceptibles de perdre une certaine dose d'oxigène par la chaleur (oxide rouge de manganèse, protoxides de cobalt, de nickel, etc.).

4°. On chauffe le mélange d'un oxide et d'un métal qui en fait la base, dans des proportions convenables pour qu'il en résulte un oxide moins avancé (protoxides d'antimoine, de cuivre, etc.).

5°. On fait passer un courant de vapeur d'eau sur un métal réduit en limailles fines et chauffé à la chaleur blanche, dans un tube de porcelaine (deutoxide de fer).

6°. On fait bouillir un métal avec de l'acide nitrique concentré, on évapore à sec et l'on calcine au rouge. C'est par ce moyen que l'on obtient un grand nombre d'oxides très avancés (peroxide de fer, acide antimonieux, deutoxide d'étain, etc.).

7°. On traite un oxide intermédiaire par l'acide nitrique, lorsque cet acide peut le partager en protoxide soluble et peroxide insoluble (peroxide de plomb, peroxide de manganèse, etc.).

8°. On précipite une dissolution métallique soit par un alcali caustique, soit par un carbonate alcalin, et l'on calcine le précipité, qui est un hydrate ou un carbonate. On prépare par ce moyen un très grand nombre d'oxides.

9°. On fait passer un courant de chlore dans de l'eau tenant en suspension un hydrate ou un carbonate récent, et contenant une base susceptible de suroxidation, et il en résulte un chlorure soluble et un peroxide. Ce peroxide est hydraté, mais en le chauffant avec ménagement,

on peut souvent l'amener à l'état anhydre sans le décomposer (peroxides de manganèse, de cobalt, de nickel, etc.).

10°. On précipite une dissolution métallique par un chlorite alcalin ou par le chlorite de chaux, et l'on a de cette manière tout le métal à l'état d'hydrate de peroxide. On accélère la précipitation en employant les dissolutions chaudes.

11°. On expose à l'air un hydrate humide suroxidable; il se forme un mélange de deutoxide, de carbonate, dont on sépare celui-ci au moyen d'un acide faible (deutoxide de cobalt, etc.).

12°. On prépare le plus souvent les acides métalliques en traitant les oxides ou les minéraux qui les renferment par le nitre à la chaleur rouge, et en décomposant ensuite le sel de potasse qui se produit, par un acide plus fort.

Il y a un petit nombre d'oxides que la nature nous offre très purs, tandis qu'on ne les prépare que difficilement dans les laboratoires (peroxide de manganèse, deutoxide de fer, etc.).

§ 2. — Dissolutions métalliques.

La plupart des dissolutions métalliques sont des sels à base d'oxide. Les chlorures, brômures, iodures et fluorures en dissolution peuvent être considérés comme des sels à acides hydrogénés, et ils se comportent avec les *réactifs* qui les décomposent, comme s'ils étaient réellement tels. On examinera ici l'effet général de certains *réactifs* très usités, sur les dissolutions métalliques.

Couleur. — On remarque que tous les sels qui sont composés d'un même oxide et d'un acide incolore ont à peu près la même couleur, et que cette couleur est différente pour les sels calcinés que pour les sels cristallisés.

Action des bases. — Les *alcalis*, les *terres alcalines*, l'*ammoniaque* et les *carbonates alcalins* décomposent tous les sels métalliques. Les alcalis, employés sans excès, les transforment seulement en sous-sels insolubles. Lors-

qu'une même dissolution renferme plusieurs oxides, ils sont précipités successivement par ces *réactifs*, dans l'ordre inverse de leur force électro-positive, ceux qui jouent le rôle de base forte étant précipités les derniers.

Action des phosphates et arséniates. — Les *phosphates* et les *arséniates alcalins* en précipitent un grand nombre, parce que la plupart des phosphates et arséniates métalliques sont insolubles dans l'eau.

Action de l'hydrogène sulfuré. — L'*hydrogène sulfuré* précipite à l'état de sulfures, le cuivre, l'antimoine, l'étain, le bismuth, le cadmium, le mercure, le plomb, l'argent, l'or, le platine, le palladium. Il précipite en partie le zinc, le nickel et quelques autres, quand les dissolutions sont aussi neutres que possible et ne renferment pas un acide fort. Il ramène au *minimum* d'oxidation les métaux qu'il ne précipite pas. Lorsqu'une même dissolution renferme plusieurs métaux, ils se précipitent successivement dans l'ordre inverse de leur oxidabilité.

Action des hydro-sulfates. — Les *sulfures alcalins* ou *hydro-sulfates* précipitent toutes les dissolutions métalliques. Les précipités sont des sulfures pour les métaux facilement réductibles; pour les autres on ne sait pas si ce sont des sulfures hydratés ou des hydro-sulfates déprotoxidés.

Les dissolutions de fer, de protoxide d'étain, de bismuth, de plomb, d'argent, de cobalt, de nickel, d'or, de platine et de palladium, sont précipitées en noir par les sulfures alcalins. Les dissolutions de cuivre, de mercure, d'urane, de molybdène et de tungstène, sont précipitées en brun, celles de tantale en chocolat, celles de chrôme en vert, celles d'antimoine en orange foncé ou brun-marron, celles de deutoxide d'étain en jaune, celles de cadmium en jaune-serin ou jaune-orange, celles de manganèse en blanc un peu blond, et celles de titane, de cérium et de zinc en blanc pur. Les précipités qui se forment dans les dissolutions des métaux électro-négatifs se redissolvent dans un excès de sulfure alcalin.

Action des prussiates. — Le *prussiate de potasse jaune* et le *prussiate de potasse rouge* forment dans les dissolutions métalliques des précipités qui ont les couleurs suivantes :

	Prussiate jaune.	Prussiate rouge.
Chrôme.....	vert grisâtre.	
Tungstène.....	brun.	
Molybdène....	brun.	
Urane.....	rouge de sang....	brun rougeâtre.
Titane.....	rouge-brun-orange	jaune brunâtre.
Tantale.....	vert.	
Cérium.....	blanc.	
Manganèse....	blanc.....	blanc.
Fer.....	blanc ou bleu....	bleu avec le protoxide.
Cobalt.....	vert d'herbe.....	rouge-brun foncé.
Nickel.....	blanc verdâtre....	jaune verdâtre.
Cuivre.....	brun-marron.....	jaune verdâtre.
Antimoine.....	blanc jaunâtre....	sans précipité.
Étain.....	blanc.....	blanc.
Zinc.....	blanc.....	jaune-orange.
Cadmium.....	blanc.....	jaune.
Bismuth.....	blanc.....	jaune-brun.
Mercure.....	blanc jaunâtre....	jaune.
Plomb.....	blanc jaunâtre....	rouge-brun.
Argent.....	blanc bleuâtre....	jaune orangé.
Palladium.....	vert olive.	

Action de la noix de galle. — La *décoction de noix de galle* forme dans la plupart des dissolutions métalliques des précipités dont les couleurs sont caractéristiques. Ces précipités sont :

Bruns.....	dans les dissolutions de chrôme et de molybdène.
Orangés.....	de tantale.
Chocolats ou rouges.....	d'urane.
Rouges de sang.....	de titane.
Jaunâtres.....	de cérium.
Violets-noirs.....	de peroxide de fer.
Blancs jaunâtres.....	de cobalt.
Blancs verdâtres.....	de nickel.
Olives.....	de protoxide de cuivre.
Bruns.....	de deutoxide de cuivre.

Blancs jaunâtres... dans les dissolutions d'antimoine.
Jaunâtres..... d'étain.
Orangés..... de bismuth.
Blancs..... de plomb.
Jaunes brunâtres..... d'argent.
Bruns..... d'or.
Verts foncés..... de platine.
Pourpres bleuâtres..... d'osmium.

La décoction de noix de galles ne trouble pas les dissolutions de manganèse, de zinc et de protoxide de fer.

Article v. — *Composés sulfurés.*

Les combinaisons métalliques dans lesquelles il entre du soufre sont : 1°. les *sulfures simples*, 2°. *les sulfures doubles et multiples*, 3°. les *hydro-sulfates d'oxides*, 4°. les *hydro-sulfates de sulfures*, 5°. les *sulfures d'oxides*, 6°. les *oxi-sulfures*, 7°. les *sulfates*, 8°. les *sulfites*, 9°. les *hyposulfites*, 10° les *hyposulfates*.

Caractères. 1°. et 2°. *Sulfures.* — Le soufre se combine avec les métaux en plusieurs proportions. Tous les sulfures métalliques jouissent de l'éclat métallique, du moins quand ils sont dans un certain état d'agrégation, à l'exception de ceux de cérium, de zinc et de mercure. Leur densité est moindre que celle du métal qui en fait la base.

Calcination. La chaleur décompose complètement les sulfures des chrysides, et ramène les persulfures des autres métaux à un certain degré *minimum* de sulfuration.

Grillage. Ils sont décomposés par le grillage avec dégagement d'acide sulfureux et formation de sulfate : il se produit d'autant plus de sulfate que le grillage s'opère à une température plus basse, et que l'oxide qui se forme a de plus fortes affinités. Le grillage transforme le sulfure en oxide pur, lorsque le sulfate qui pourrait se produire est décomposable par la chaleur, et que l'on chauffe suffisamment pour opérer cette décomposition.

Air. Lorsqu'ils sont exposés à l'air humide, ou lorsqu'on les tient constamment humectés au contact de l'air, la

plupart des sulfures se décomposent peu à peu, à la température ordinaire, et se transforment en sulfates sans qu'il y ait aucun dégagement d'acide sulfureux : cette décomposition est produite par l'oxigène atmosphérique ; l'eau n'est presque jamais décomposée. Les sulfures les plus altérables par *voie humide* sont ceux qui sont au *minimum* de sulfuration, et qui renferment un métal très oxidable.

Le *gaz hydrogène* réduit complètement les sulfures d'antimoine, de bismuth et d'argent ; il réduit en partie les sulfures d'étain et de fer, et il est sans action sur les sulfures de zinc et de cuivre. Gazolites.

Le *carbone* paraît se comporter avec les sulfures à peu près comme l'hydrogène : il réduit complètement le sulfure d'antimoine avec dégagement de sulfure de carbone.

Le *chlore gazeux* décompose tous les sulfures à l'aide d'une température plus ou moins élevée, et forme des chlorures avec le soufre et avec son radical.

Les *métaux* les plus oxidables sont en même temps les plus sulfurables : aussi les premiers décomposent-ils en tout ou en partie les sulfures des seconds. Quelques sulfures peuvent être fondus en toutes proportions avec le métal qui en fait la base, mais ce cas est rare. Métaux.

Les sulfures sont en général moins attaquables par les *acides* que les métaux purs. Quand l'acide est décomposé il se sépare du soufre, et il se forme une quantité plus ou moins grande de sulfate : quand l'eau est décomposée il se dégage de l'hydrogène sulfuré, et il se dépose du soufre si le sulfure en contient un excès ; quelquefois l'acide et l'eau se décomposent simultanément. Acides.

L'*acide nitrique* attaque tous les sulfures à l'aide d'une chaleur douce, et souvent même à froid, à l'exception du sulfure de mercure : il en résulte en général un mélange de nitrate et de sulfate métallique.

L'*acide sulfurique* n'attaque que les sulfures des mé-

taux très oxidables ; encore est-il sans action sur le persulfure de fer, et sur le sulfure de zinc.

L'*acide muriatique* attaque les mêmes sulfures que l'acide sulfurique, et de plus ceux d'antimoine et de plomb, et un peu celui de zinc et quelques autres.

L'*eau régale* agit avec une vive énergie sur tous les sulfures sans exception.

Alcalis. Les *alcalis* dissolvent les sulfures des métaux électro-négatifs, surtout lorsque ces sulfures sont obtenus par *voie humide*, et à l'état récent : il se forme un mélange d'un composé d'oxide alcalin et d'oxide métallique, et de sulfure double alcalin.

Par *voie sèche* les alcalis caustiques décomposent les sulfures de fer, de zinc, d'étain, de mercure, de cuivre, de plomb, etc. Les carbonates alcalins les décomposent tous aussi, mais seulement lorsqu'il y a contact du charbon : en l'absence de ce combustible il y a
Terres alcalines. quelques sulfures sur lesquels ils n'ont aucune action. Le baryte, la strontiane et la chaux, mêlés de charbon, se comportent avec les sulfures comme les alcalis. Dans toutes ces décompositions il se forme des sulfures à base de métaux alcalins ou alcalino-terreux, et ces sulfures retiennent en combinaison une certaine quantité du sulfure soumis à l'expérience. Cependant lorsque celui-ci a pour base un métal très volatil, la décomposition peut en être complète. La proportion du sulfure qui reste dissous dans les sulfures alcalins dépend de plusieurs circonstances ; la présence du charbon a toujours pour effet de la diminuer beaucoup : cette proportion est d'autant moindre aussi que la fusion a lieu à une chaleur plus élevée. La réduction à l'état métallique de la portion de l'alcali ou de la terre alcaline qui se combine avec le soufre, s'opère, soit par l'action d'une portion du soufre du sulfure métallique, quand le métal est peu oxidable, et alors il se forme de l'acide sulfurique, qui reste dans la scorie, combiné avec l'excès d'alcali ; soit par l'action du métal lui-même lorsqu'il est très oxidable. L'addition du charbon empêche

l'acidification du soufre et l'oxidation du métal; alors c'est ce corps qui réduit l'alcali ou la terre alcaline.

Oxides. En général les *oxides* et les *sulfures* des métaux peu oxidables se décomposent réciproquement à l'aide d'une température plus ou moins élevée; beaucoup d'oxides et de sulfures du même métal se décomposent aussi réciproquement, par exemple l'oxide et le sulfure de plomb, l'oxide et le sulfure de cuivre, etc.; et si les proportions sont convenables, il peut en résulter un métal pur, et tout le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux. Mais les oxides et les sulfures d'un même métal très oxidable se combinent ensemble sans se décomposer; par exemple les oxides et sulfures d'antimoine, de fer, de zinc, etc. Enfin il y a des sulfures qui se combinent avec des oxides de métaux différens, les sulfures d'antimoine, de fer, etc., avec la litharge.

Sulfures. Les *sulfures* métalliques peuvent se combiner entre eux, et avec les *sulfures* des métaux alcalins et alcalino-terreux, en un grand nombre de proportions, surtout par la *voie sèche*, particulièrement les sulfures des métaux électro-négatifs avec ceux des sulfures électro-positifs : on trouve dans la nature un grand nombre de composés de cette espèce.

Séléniures, etc. Les sulfures se combinent bien aussi avec les *séléniures*, les *arséniures*, les *tellures*, les *chlorures*, etc.

Sel ammoniac. Le *sel ammoniac* décompose plusieurs sulfures par *voie sèche*, entre autres ceux de zinc, de plomb et d'argent : le métal reste combiné avec du chlore, et il se dégage de l'hydro-sulfate d'ammoniaque.

Nitrates. Chlorates. Les *nitrates* et les *chlorates* transforment tous les sulfures ou sulfates à l'aide de la chaleur : l'action est en général très vive, et il peut y avoir détonation. (*Voy.* page 408.)

Silicates. Les *sulfures* et les *sulfates* métalliques se décomposent en général réciproquement par la chaleur.

Borates. Silicates. Les *sulfures* métalliques ne se combinent ni avec les *borates*, ni avec les *silicates*, à aucune température.

oxides de zinc, d'étain, de plomb, et les acides chrômique, tungstique et molybdique. Ils forment par *voie sèche* des combinaisons insolubles avec les oxides de titane, de tantale, d'urane, etc.

Ammoniaque. L'*ammoniaque* dissout en grande quantité les oxides de zinc, de cuivre, d'argent, les acides chrômique, tungstique et molybdique, etc., et en moindre quantité les protoxides de manganèse, de fer, de nickel, de cobalt, etc.; le plus souvent, pour que la dissolution puisse avoir lieu, il faut que l'oxide soit à l'état d'hydrate récent. L'ammoniaque gazeuse réduit à l'aide de la chaleur tous les oxides, excepté ceux des chrômides; il se forme de l'eau, et le plus souvent il se dégage de l'azote; cependant avec les oxides faciles à réduire il se forme du deutoxide d'azote.

Action des oxides. — Les protoxides des métaux très oxidables réduisent les oxides des métaux très peu oxidables, comme ceux de mercure et d'or, et ramènent seulement à un moindre degré d'oxidation les oxides des métaux moyennement oxidables. Plusieurs oxides sont susceptibles de se combiner l'un avec l'autre, lorsqu'ils se trouvent en présence à l'état naissant. De là vient que quelques oxides non précipitables de leurs dissolutions par certains réactifs, le deviennent lorsque la liqueur renferme en même temps d'autres oxides. Deux oxides différens d'un même métal, étant chauffés ensemble, peuvent quelquefois former une combinaison analogue à un sel; par exemple, le protoxide et le peroxide de fer. Ces combinaisons ont cela de particulier qu'elles donnent avec les acides des mélanges de sels de protoxides et de peroxides.

Nitre. *Actions des sels.* — Le *nitre* et le *chlorate de potasse* suroxident par *voie sèche* tous les oxides qui peuvent produire des peroxides ou des acides permanens à la chaleur blanche.

Force des oxides. — Les oxides qui jouent le rôle des bases les plus fortes sont l'oxide d'argent, les protoxides de plomb, de fer, de manganèse, de cobalt,

de nickel, le deutoxide de mercure, l'oxide de zinc et le deutoxide de cuivre.

Composition. — Lorsqu'un même métal est susceptible de produire plusieurs oxides, les quantités d'oxigène que renferment ces différens oxides sont entre elles comme quelques-uns des nombres 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 et 16 : quand les rapports sont plus compliqués, c'est que l'un des oxides est une combinaison en proportions définies d'un oxide inférieur et d'un oxide supérieur.

Hydrates. — Les *hydrates* des oxides incolores sont eux-mêmes incolores; ceux des oxides colorés sont colorés aussi, mais leurs couleurs sont différentes de celles des oxides. Ces couleurs sont presque toutes très belles. Leur densité est plus grande que la moyenne de la densité de l'eau et de l'oxide, ce qui prouve que l'eau y est très condensée. Caractères.

Les hydrates sont en général très facilement décomposables par la chaleur; quelques-uns, par exemple l'hydrate de cuivre, se décomposent même dans l'eau bouillante. Ils sont tous beaucoup plus facilement attaquables par les acides et par les alcalis que leurs oxides. Ils ne se forment pas directement : on ne les obtient qu'en précipitant les dissolutions métalliques par les alcalis caustiques en excès. Propriétés.

L'eau peut se combiner en plusieurs proportions avec un même oxide; cependant, dans le plus grand nombre des hydrates, la quantité d'oxigène de l'oxide est à la quantité d'oxigène de l'eau :: 1 : 1, et par conséquent à la quantité d'eau :: 1 : 1,12479. Composition.

Les hydrates peuvent se combiner en proportions définies avec différens sels : on connaît des combinaisons d'hydrates et de carbonates, d'hydrates et de silicates, etc.

Les oxides étant en très grand nombre, on ne peut pas les obtenir tous par les mêmes procédés. Il y en a quelques-uns dont l'existence est certaine, et que cependant il est impossible d'avoir à l'état isolé; le protoxide de fer, par exemple. Préparation.

le chauffe à la chaleur blanche avec trente fois au moins son poids de litharge ; il se dégage de l'acide sulfureux, et le plus souvent le métal qui était combiné au soufre reste combiné avec la litharge à l'état d'oxide. (*Voy.* page 396.)

Calcination. 7°. *Sulfates.* — Les sulfates sont tous complètement décomposés par une chaleur plus ou moins élevée : le sulfate de plomb, le plus stable de tous, commence à se décomposer à la température blanche en même temps qu'il se ramollit. Il résulte en général de la décomposition des sulfates un mélange d'acide sulfurique anhydre, d'acide sulfureux et d'oxigène, et un oxide au *maximum*. La proportion d'acide sulfurique qui se dégage sans s'altérer est d'autant plus grande que le sel se décompose à une température plus basse, et que la base qu'il renferme est moins forte et moins suroxidable : le sulfate de peroxide de fer est celui qui en donne le plus.

Air. Les sulfates dont les bases sont très oxidables absorbent peu à peu l'oxigène de l'air, et se transforment en sous-sels de peroxide insolubles et sur-sels qui restent dissous : c'est ce qui arrive au protosulfate de fer ; mais le plus grand nombre est inaltérable à l'air.

Hydrogène. Ils sont décomposés par le gaz hydrogène à l'aide de la chaleur, et donnent soit des sulfures, soit des oxi-sulfures, soit des oxides purs, et quelquefois des métaux purs.

Carbone. A la chaleur blanche le charbon transforme en sulfures tous les sulfates qui ne sont pas trop facilement décomposables par la chaleur seule. Cette transformation peut s'opérer soit en mélangeant intimement le charbon pulvérisé avec le sulfate, soit en chauffant par voie de cémentation, pendant un temps suffisant, le sulfate sans mélange dans un creuset brasqué. Lorsqu'on suit ce dernier mode, le temps qu'exige la réduction dépend, 1°. du degré de chaleur, 2°. de la fusibilité du sulfure, et 3°. du volume des masses.

La chaleur blanche suffit, mais la réduction a lieu d'autant plus promptement que la température est plus élevée. Lorsque les sulfures sont fusibles à la température à laquelle on opère, ils se réunissent en globules à mesure qu'ils se forment; et comme leur pesanteur spécifique est toujours beaucoup plus grande que celle des sulfates dont ils proviennent, ces globules ne tardent pas à tomber au fond des creusets; il en résulte que la brasque étant toujours en contact immédiat avec les sulfates, ceux-ci se décomposent très rapidement. Aussi dans ce cas la réduction peut-elle se faire en quelques heures, même lorsqu'on opère sur plusieurs centaines de grammes à la fois. Quand au contraire les sulfures sont infusibles, ils restent interposés entre la brasque et les sulfates, et alors la réduction est lente, parce qu'elle ne peut avoir lieu qu'en se propageant à travers la croûte de sulfure déjà formée, de la surface au centre des masses, et elle exige alors un temps d'autant plus long que ces masses sont plus considérables. Quand le sulfate est aisément décomposable par la chaleur, et qu'on en traite par cémentation une quantité un peu volumineuse, une partie de l'acide sulfurique se dégage avant que la cémentation ait pu pénétrer jusqu'au centre de la masse, et l'on a alors un sous-sulfure ou un sulfure mélangé de métal.

Substances organiques.

M. Vogel a fait voir que les substances organiques, telles que l'extractif, le sucre, la gomme, l'infusion des bois, etc., quand elles restent long-temps dans des dissolutions de sulfates très étendues et privées du contact de l'air, changent ces sels en sulfures, en se convertissant elles-mêmes en acide carbonique et en acide acétique. Ce changement s'observe assez fréquemment dans les eaux minérales.

Gazolites.

Le phosphore, le bore, etc., réduisent les sulfates à l'aide de la chaleur.

Métaux.

Les métaux très oxidables, le manganèse, le fer, le zinc, l'antimoine, l'étain, les décomposent à la chaleur rouge : il en résulte des produits variés.

Solubilité. La plupart des sulfates neutres sont solubles dans l'eau ; le sulfate de plomb est insoluble, les sulfates de mercure

Alcool. et d'argent sont peu solubles. Ils sont absolument insolubles dans l'alcool, à un très petit nombre d'exceptions près, et ce *réactif*, quand il est concentré, et employé en quantité suffisante, les précipite complètement de leur dissolution dans l'eau.

Acides. Aucun acide ne décompose les sulfates par *voie humide*, mais à la chaleur rouge ils sont décomposés par les acides phosphorique, arsénique, borique, et par la silice, avec dégagement d'acide sulfurique, d'acide sulfureux et d'oxigène.

Hydrogène sulfuré. L'hydrogène sulfuré gazeux et le sulfure de carbone en vapeur, les transforment en sulfures très sulfurés.

Composition. Dans les sulfates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 5,01165. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 19,95 d'oxigène.

Il y a des sulfates à divers degrés de saturation. Les *bisulfates* sont facilement ramenés par la chaleur à l'état de sulfates neutres. Quand on ajoute à une dissolution de sulfate un alcali caustique en quantité insuffisante pour précipiter tout l'oxide, c'est un sous-sulfate qui se dépose, et le plus souvent ce sel renferme deux fois autant de base que le sulfate neutre.

Calcination. 8°. *Sulfites*. — Les sulfites sont peu permanens, la chaleur les décompose aisément. Ils sont peu solubles. Par l'exposition à l'air ils se transforment peu à peu en

Soufre. sulfates. Ils peuvent dissoudre beaucoup de soufre et se

Chlore. changer par là en hyposulfites. Le chlore ne les attaque pas quand ils sont secs, mais lorsqu'il y a contact d'eau, il les transforme en un mélange de sulfates et de chlorures,

Acides. avec dégagement d'acide sulfureux. Beaucoup d'acides les décomposent : quand ils sont en dissolutions concentrées, les acides sulfurique et muriatique en dégagent l'acide sulfureux avec effervescence.

Composition. Dans les sulfites neutres, la quantité d'oxigène de la

base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 2, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 4,01165. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 24,93 d'oxigène.

9°. *Hyposulfites.* — Ces sels ont une saveur sulfureuse, leurs propriétés sont analogues à celles des sulfites. Ils en diffèrent principalement en ce qu'ils sont moins altérables à l'air, et en ce que, quand on les décompose pas les acides, il se fait un dépôt de soufre en même temps qu'il se dégage de l'acide sulfureux. La chaleur les décompose plus facilement que les sulfites, et les change en sulfates, avec dégagement de soufre ou formation de sulfure. Il y en a beaucoup de solubles. Quelques-uns, comme ceux de plomb et d'argent, laissent déposer du sulfure par l'ébullition. Ils dissolvent le chlorure d'argent récent, en prenant une saveur sucrée. Caractères.

Dans les sels neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 1, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 3,0116. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 33,20 d'oxigène. Composition.

On les obtient soit en dissolvant du soufre dans un sulfite, soit en traitant un sulfure par de l'acide sulfureux; mais la combinaison ne doit pas avoir la même composition dans chacun de ces cas. On pourrait considérer les hyposulfites comme des sulfates de sulfures. Préparation.

10°. *Hyposulfates.* — La chaleur transforme les hyposulfates en sulfates neutres, avec dégagement d'acide sulfureux; ils n'absorbent que très lentement l'oxigène de l'air, ou même ne l'absorbent pas; ils sont tous solubles. Les acides forts les décomposent, mais seulement lorsqu'il résulte du mélange un certain dégagement de chaleur, ou bien lorsque l'on chauffe. Caractères.

Dans les sels neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 9,0232. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 11,08 d'oxigène. Composition

ARTICLE VI. *Composés séléniés.*

Les combinaisons métalliques connues dans lesquelles il entre du sélénium, sont : 1°. les *séléniures simples ;* 2°. les *séléniures doubles et multiples ;* 3°. les *hydro-séléniates d'oxides ;* 4°. les *hydro-séléniates de séléniures ;* 5°. les *séléniures d'oxides ;* 6°. les *oxi-séléniures ;* 7°. les *séléniates ;* 8°. et les *sélénites*.

Caractères. 1°. et 2°. *Séléniures.* — Les propriétés des séléniures sont analogues en général à celles des sulfures. Ces composés ont la plupart l'aspect métallique ; ils sont à peu d'exceptions près plus fusibles que les métaux qu'ils contiennent.

Grillage. Ils se décomposent par le grillage, mais plus difficilement que les sulfures : le sélénium qui se dégage brûle en partie, avec une flamme bleue et en répandant l'odeur de radis.

Les séléniures métalliques sont tous insolubles dans l'eau.

Acides. L'acide nitrique les attaque, mais beaucoup moins facilement que les métaux purs et que les sulfures. Ils se comportent avec les alcalis, par *voie sèche*, absolument de la même manière que les sulfures. Ils se combinent entre eux et avec les oxides ; ces derniers opèrent sur eux une action décomposante beaucoup moins forte que sur les sulfures : la litharge et le séléniure de plomb, par exemple, ne se décomposent pas réciproquement.

Chalumeau. Au chalumeau, les composés qui contiennent du sélénium se comportent avec le silicate de soude comme ceux qui contiennent du soufre : lorsqu'ils sont mêlés avec ceux-ci, en les grillant dans un tube de verre, le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux, et le sélénium se dépose sans altération sur les parois du tube. Lorsqu'il y a en même temps du tellure, celui-ci se volatilise sans se brûler, comme le sélénium, mais il se dépose plus loin de la pièce d'essai que le sélénium.

Composition. Dans les séléniures proportionnels aux oxides pour la même quantité de métal, la quantité de sélénium est à la quantité d'oxigène :: 4,946 : 1,000.

3°. et 4°. *Hydro-séléniates d'oxides et de séléniures*, analogues aux hydro-sulfates.

5°. *Séléniures d'oxides.* — Le sélénium ayant beaucoup moins d'affinité pour l'oxigène que le soufre, forme probablement un plus grand nombre de combinaisons avec les oxides que celui-ci ; on sait, par exemple, qu'il se combine avec la litharge, mais qu'il ne peut pas la réduire.

6°. *Oxi-séléniures.* — Ces combinaisons sont analogues aux oxi-sulfures, mais elles n'ont pas été étudiées.

7°. *Séléniates.* — Les séléniates ont beaucoup de rapport avec les sulfates et prennent les mêmes formes cristallines ; ils déflagrent sur le charbon comme le nitre. Lorsqu'on les fait bouillir avec de l'acide muriatique, ils se changent en sélénites, avec dégagement de chlore. Quand on les chauffe avec du sel ammoniac, ils se décomposent, et il se dégage de l'azote, de l'eau et du sélénium. Caractères.

Dans les sels neutres la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 7,946. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 12,56 d'oxigène. Composition.

Ils ne se produisent que par l'action du nitre et de quelques autres nitrates sur le sélénium ou sur les séléniures, ou par double décomposition. Préparation.

8°. *Sélénites.* — Les sélénites métalliques neutres sont ou insolubles ou très peu solubles dans l'eau ; mais ils se dissolvent dans un excès d'acide sélénieux : la chaleur ne les décompose que difficilement. Ils se transforment en séléniures par le charbon à la chaleur rouge. Ils sont décomposés à chaud par les acides sulfurique, phosphorique, arsénique et borique. Lorsqu'on ajoute un sulfite soluble à une dissolution de sélénite dans un acide, le sélénium se précipite peu à peu et en totalité. Chauffés avec du sel ammoniac, les sélénites sont réduits comme les séléniates, et le sélénium se sublime. Caractères.

Dans les sélénites neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 2, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 6,946. Composition.

100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 14,37 d'oxigène.

Préparation. C'est toujours un sélénite et non un séléniate qui se forme lorsqu'on attaque un séléniure par l'acide nitrique ou par l'eau régale.

ARTICLE VII. — *Composés tellurés.*

On connaît 1°. des *tellurures*, et 2°. des *tellurates*.

Caractères. 1°. *Tellurures.* — Les tellurures ont l'éclat métallique ;

Grillage. ils sont en général très fusibles. Grillés dans le tube de verre, ils fument beaucoup; si le courant d'air est actif, il ne se forme que de l'acide tellurique qui se dépose sur les parois du verre, sous forme d'une poudre blanche non cristalline, fusible en gouttes incolores, et fixe; si le feu est vif et le courant d'air faible, il se dépose du tellure métallique en poudre grise, et de l'acide tellurique; dans tous les cas, le globule soumis au grillage s'entoure d'acide tellurique fondu et limpide, qui, par refroidissement, se prend en masse blanc de lait, feuilletée : la fumée a une odeur piquante analogue à celle de l'antimoine.

Les tellurures chauffés avec du flux noir se décomposent, et il se forme un tellurure alcalin soluble dans l'eau, qu'il colore en jaune ou en brun; mais la dissolution exposée à l'air laisse promptement déposer tout le tellure qu'elle contient, sous forme de croûtes noirâtres, et elle perd bientôt tout-à-fait sa couleur.

Les tellurures sont attaquables par l'acide nitrique et par l'eau régale.

Composition. Dans les tellurures correspondant aux oxides, la quantité de tellure est à la quantité d'oxigène :: 8,0645 : 1,0000.

2°. *Tellurates.* — Les tellurates métalliques sont insolubles dans l'eau; ils sont décomposés par un grand

Cendres. nombre d'acides. Les alcalis et les carbonates alcalins les décomposent par *voie sèche*, et en les lavant dans l'eau tout l'acide tellurique se dissout; avec le flux noir ils se comportent comme les tellurures. Les sulfures alcalins dis-

sous et employés en excès, les décomposent et dissolvent le tellure, qu'ils transforment en sulfure.

Dans les sels neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 2, et par conséquent à la quantité d'acide : : 1 : 10,064. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 9,93 d'oxigène. Composition.

ARTICLE VIII. — *Composés phosphorés.*

On distingue, 1° des *phosphures;* 2°. des *phosphates;* 3°. des *phosphites;* 4°. et des *hypophosphites.*

1°. *Phosphures.* — Les phosphures ont tous l'éclat métallique; ils sont en général très fusibles; la plupart sont cassans; ceux de plomb, de zinc et d'étain sont demi ductiles. La chaleur amène le plus grand nombre à un certain degré *minimum* de phosphuration, et en décompose totalement quelques-uns, les phosphures des chrysides, ceux de plomb et d'argent. Par le grillage ils se changent en phosphates, en répandant l'odeur phosphoreuse. L'acide nitrique et l'eau régale les transforment aussi en phosphates; un très petit nombre donnent de l'hydrogène phosphuré avec l'acide muriatique. Caractères. Grillage.

Ils se fondent sans éprouver d'altération avec les carbonates alcalins et le flux noir. Flux noir.

Dans les phosphures correspondant aux oxides pour une très minime quantité de métal, la quantité de phosphore est à la quantité d'oxigène : : 1 : 1,9615. Composition.

On peut préparer un certain nombre de phosphures par combinaison directe, quoique assez difficilement, à cause de la grande volatilité du phosphore. On en obtient beaucoup d'une manière simple et économique, en fondant, au creuset brasqué, à la température de 150° p., du métal en limaille ou de l'oxide en poudre, avec deux ou trois fois son poids d'un mélange de 10 parties de phosphate de chaux (os calcinés), 5 parties de sable quarzeux, 5 parties de borax et environ 1 partie de charbon en poudre : le phosphate de chaux est réduit pour la plus grande partie à la faveur de la silice et du borax; et outre le phos- Préparation.

phure on obtient une scorie vitreuse, transparente et opaline, bien fusible.

2°. *Phosphates.* — Les phosphates sont indécomposables par la chaleur, à l'exception d'un très petit nombre; la plupart sont fusibles. Un grand nombre se changent en phosphures quand on les chauffe avec du charbon; mais il y en a qui ne laissent pour résidu qu'un oxide, le phosphate de chrôme par exemple; et d'autres qui n'éprouvent aucune altération, comme le phosphate de manganèse. Avec le flux noir ils donnent ou un phosphure, ou un métal pur, ou un oxide; dans les deux derniers cas la scorie contient l'acide phosphorique qui se combine avec l'alcali. Les phosphates neutres sont insolubles dans l'eau, mais la plupart se dissolvent dans un excès d'acide phosphorique; les acides forts les dissolvent ou les transforment en phosphates acides. Beaucoup de phosphates acides lorsqu'ils ont été calcinés, sont cependant insolubles, même dans l'acide muriatique. Tous les phosphates sont décomposés à l'aide de la chaleur par l'acide borique, mais ils ne le sont pas par la silice, à moins qu'il n'y ait contact de charbon.

Réductifs.

Acides.

Pour reconnaître un phosphate au chalumeau, on dissout la matière dans l'acide borique, et lorsque la fusion est opérée, on introduit dans la boule un petit bout de fil d'acier très fin, puis on donne un bon coup de feu de réduction; il se produit du phosphure de fer, fusible et cassant lorsqu'il y a de l'acide phosphorique; mais on ne peut pas reconnaître par ce moyen la présence de cet acide, quand il entre pour moins de 0,04 à 0,05 dans la matière à essayer.

Chalumeau.

Dans les phosphates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 2 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide :: 2 : 8,923 :: 1 : 4,462. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 22,41 d'oxigène. Pour une même base il y a un grand nombre de phosphates différens; les sous-phosphates, dans lesquels le rapport de l'oxigène de l'oxide à l'oxigène de l'acide est de 3 à 5, se présentent fréquem-

Composition.

ment : il y en a dans lesquels ce rapport est de 1 à 5, de 4 à 15, de 8 à 15, etc.

3°. *Phosphites.* — Les phosphites brûlent sur les charbons avec flamme jaune. Par la distillation ils laissent dégager du phosphore, de l'hydrogène phosphuré inflammable, et se changent en phosphates rougeâtres. Ils sont insolubles. Ils réduisent l'or, l'argent et le mercure. Caractères.

4°. *Hypophosphites.* — Les hypophosphites se distinguent des phosphites et des phosphates par leur grande solubilité. Ils donnent à la distillation du phosphore, de l'hydrogène phosphoré et un résidu de phosphate. Ils précipitent l'or, l'argent et le mercure à l'état métallique. Caractères.

ARTICLE IX. — *Composés arséniés.*

Les combinaisons métalliques arséniées sont : 1° les *arséniures;* 2°. les *arséniates;* 3°. les *arsénites.*

1°. *Arséniures.* — Les arséniures ont tous l'éclat métallique. Ils sont en général très fusibles; la chaleur les ramène à un certain degré *minimum* d'arséniuration; mais elle n'en décompose complètement qu'un petit nombre. Lorsqu'on les soumet au grillage, ils exhalent l'odeur d'ail; il s'en dégage de l'acide arsénieux qui se dépose en cristaux blancs sur les corps froids, et il se forme des sous-arséniates. Ils n'éprouvent aucune altération de la part des carbonates alcalins ou du flux noir par *voie sèche;* mais quand on ajoute du soufre au mélange, le métal et l'arsenic sont amenés à l'état de sulfures, et le sulfure d'arsenic forme avec le sulfure alcalin qui se produit en même temps, une combinaison soluble dans l'eau. Le chlore gazeux les décompose. Caractères. Grillage. Flux noir. Soufre.

L'acide nitrique concentré et bouillant change les arséniures en arséniates, en les faisant passer par l'état d'arsénites; l'eau régale les transforme beaucoup plus promptement en arséniates. Ils se combinent facilement entre eux, deux à deux et en plus grand nombre; ils se combinent fréquemment aussi avec les sulfures. Acides. Arséniures. Sulfures.

Dans les arséniures correspondant aux oxides, la quan- Composition.

tité d'arsenic est à la quantité d'oxigène :: 4,7004 : 1,0000.

Caractères. 2°. *Arséniates.* — Les arséniates ont les plus grands rapports avec les phosphates, et ils sont isomorphes avec ces sels. Ils sont en général fusibles et indécomposables par la chaleur, du moins complètement; ceux qui renferment une base suroxidable laissent dégager de l'acide

Charbon. arsénieux. Le charbon les réduit tous sans aucune exception, même les arséniates alcalins; ce qui n'a pas lieu pour les phosphates; il se dégage de l'arsenic qui exhale l'odeur d'ail, et le résidu est un sous-arséniure quand l'oxide est réductible, et un oxide pur dans le cas contraire; dans ce dernier cas la réduction est facilitée par la présence de l'acide borique.

Les arséniates métalliques sont insolubles dans l'eau; mais ils se dissolvent plus ou moins facilement dans les

Hydrogène sulfuré. acides forts. L'hydrogène sulfuré précipite l'arsenic à l'état de sulfure, de leurs dissolutions; mais cette précipitation n'a lieu qu'au bout d'un certain temps, à moins qu'on ne chauffe avec de l'acide muriatique.

Composition. Dans les arséniates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 2 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide :: 2 : 14,4008 :: 11 : 7,2004. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 13,88 d'oxigène. Il se forme fréquemment des arséniates dans lesquels l'oxigène de la base est à l'oxigène de l'acide :: 3 : 5; il y en a dans lesquels ce rapport est de 1 à 5 et de 4 à 15.

Caractères. 3°. *Arsénites.* — Les arsénites sont très peu permanens; la plupart abandonnent une grande quantité d'acide arsénieux par la chaleur; ils se changent en arséniates par le grillage et par l'action de l'acide nitrique et de l'eau régale. Ils se comportent avec le charbon comme les arséniates. Ils sont insolubles dans l'eau. Les acides forts les décomposent; quand les dissolutions sont concentrées, l'acide arsénieux cristallise; quand elles sont étendues, l'hydrogène sulfuré en précipite immédiatement l'arsenic à l'état de sulfure.

Dans les arsénites neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 2 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 12,4008. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 16,12 d'oxigène. Composition.

ARTICLE X. — *Composés azotés.*

On ne connaît qu'un très petit nombre d'*azotures métalliques*. Nous en traiterons en parlant de chaque métal en particulier.

Nitrates. — Les *nitrates* sont tous décomposables par la chaleur : ceux qui n'exigent qu'une température peu élevée, comme les nitrates des chrysides, laissent dégager de l'acide nitrique pur; ceux qui sont moins facilement décomposables donnent de l'acide nitreux ou un oxide d'azote; le résidu est presque toujours un peroxide. Les nitrates sont décomposés à l'aide d'une chaleur un peu élevée par tous les corps qui sont susceptibles d'oxidation; ils agissent plus énergiquement sur ces corps que l'acide nitrique liquide, parce que cet acide y est plus condensé, et que son action s'exerce à une chaleur élevée : il y a souvent détonation. Ils avivent beaucoup la combustion du charbon. Calcination. Corps oxidables.

Ils sont tous solubles dans l'eau, à l'exception de quelques sous-sels peu stables et difficiles à recueillir, et qui par conséquent ne peuvent servir pour doser l'acide nitrique. Eau.

L'acide sulfurique les décompose même à froid, et lorsqu'ils sont solides il y a dégagement de vapeurs blanches. Si on les mêle en même temps avec de la limaille de cuivre, il se dégage des vapeurs rouges de gaz nitreux. Les acides sélénieux, phosphorique, fluorique et arsénique les décomposent à l'aide de la chaleur. L'acide muriatique, les transforme en chlorures, avec dégagement de gaz nitreux; l'acide borique les décompose à la chaleur rouge. Acides.

Dans les nitrates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 6,7726. 100 d'a- Composition.

cide saturent une quantité de base qui contient 14,765 d'oxigène.

ARTICLE XI. — *Composés chlorés.*

Le chlore forme avec les métaux les combinaisons suivantes : 1°. des *chlorures simples et doubles;* 2°. des *hydro-chlorates d'oxides;* 3°. des *hydro-chlorates de chlorures;* 4°. des *oxi-chlorures;* 5°. des *chlorures d'oxides* ou *chlorites;* 6°. des *chlorates;* et 7°. des *perchlorates.*

Caractères. 1°. *Chlorures.* — La plupart des chlorures sont solides à la température ordinaire; cependant il y en a qui sont liquides, tels que le chlorure de titane, les perchlorures de chrôme, de manganèse et d'étain. Aucun ne jouit de l'éclat métallique, si ce n'est le perchlorure de fer lorsqu'il a été sublimé. Ceux qui ont pour radical un métal leucolithe, et même quelques autres, sont incolores; les chlorures des croïcolithes ont des couleurs variées et qui sont souvent fort belles; leur aspect est en général le même que celui des oxides et des sels, et pendant long-temps on s'est appuyé sur cette considération pour soutenir qu'ils contenaient de l'oxigène. On remarque qu'ils sont plus électro-négatifs que les oxides et les sulfures correspondans : ainsi les chlorures alcalins sont neutres, tandis que les oxides et les sulfures des mêmes métaux sont très basiques.

Fusibilité. Ils sont tous fusibles, et la plupart à une chaleur inférieure au rouge; les chlorures de bismuth, de zinc et d'antimoine, se liquéfient à une température inférieure

Volatilité. à 100°. Ils sont presque tous volatils, et la plupart même très volatils : on en connaît qui se répandent abondamment en vapeurs dans l'air à la température ordinaire : c'est ce qui faisait dire aux alchimistes que l'acide muriatique donne des ailes aux métaux. Les perchlorures sont en général plus volatils que les protochlorures. La chaleur décompose complètement les chlorures

Lumière. des chrysides; elle n'altère pas les autres. La lumière en décompose lentement quelques-uns; par exemple elle noir-

cit le chlorure d'argent en en dégageant une partie du chlore.

L'oxigène et l'air décomposent, à l'aide de la chaleur, les chlorures des métaux très oxidables : tels sont ceux de chrôme, de manganèse, de fer, de cobalt, de nickel; il se dégage du chlore qui entraîne souvent avec lui une certaine quantité de chlorure en vapeurs, et le résidu est de l'oxide pur : il ne se forme jamais de chlorates, parce que ces sels sont trop facilement décomposables par la chaleur. Les chlorures de plomb, d'argent, etc., et en général les chlorures basiques ne sont pas altérables par le grillage. Grillage.

Le gaz hydrogène réduit la plupart des chlorures métalliques à l'aide de la chaleur : le métal reste pur, et il se dégage de l'acide hydro-chlorique. Le charbon pur ne les altère pas; mais quand il n'a pas été très fortement calciné, il agit sur eux par l'hydrogène qu'il contient. Le soufre en vapeurs en décompose un grand nombre, avec formation de chlorure de soufre et de sulfure métallique. Le soufre employé en mélange, à la température de sa fusion, ne les décompose que partiellement, et il se forme des *sulfo-chlorures*. Les métaux se comportent avec les chlorures à peu près comme avec les oxides et les sulfures, c'est-à-dire que les plus oxidables décomposent les chlorures des moins oxidables. Le potassium et le sodium les réduisent tous. Hydrogène. Charbon. Soufre. Métaux.

Les chlorures sont tous solubles dans l'eau, et la plupart même très solubles et déliquescens, à l'exception des chlorures d'argent et des protochlorures de cuivre et de mercure, qui sont insolubles, et du chlorure de plomb, qui l'est très peu. Quelques-uns se décomposent, par l'action de l'eau liquide, en acide hydro-chlorique et en oxide, ou en oxido-chlorures qui restent en partie dissous dans la liqueur : tels sont les chlorures de titane, d'antimoine, de bismuth, etc. L'eau en vapeurs en décompose un grand nombre à la chaleur rouge, et plus facilement encore lorsque les vapeurs sont mêlées d'air atmosphérique. Beaucoup de chlorures sont solubles dans l'alcool. Eau.

Acides. Il n'y a que les acides très forts qui aient de l'action sur les chlorures ; l'acide sulfurique anhydre ne les attaque pas ; mais quand il contient de l'eau, il les décompose : si l'acide est concentré, et le chlorure solide, il y a effervescence et dégagement de vapeurs blanches et piquantes d'acide hydro-chlorique ; lorsqu'on ajoute en même temps du peroxide de manganèse, il se dégage du chlore : ce caractère est propre à faire reconnaître un chlorure. L'acide nitrique concentré et bouillant décompose les chlorures en dissolution dans l'eau, lorsqu'il peut oxider leur radical ; il se forme un nitrate, et le chlore se dégage ; mais cet acide n'agit que très faiblement sur les chlorures insolubles ou peu solubles. Les chlorures sont indécomposables par l'acide borique, la silice et le phosphate acide de chaux anhydre ; mais lorsqu'il y a présence de vapeur d'eau, la décomposition a lieu à la chaleur rouge.

Plusieurs chlorures peuvent former des combinaisons en proportion définie avec l'acide hydro-chlorique ; par exemple, le protochlorure de cuivre, le deutochlorure d'or, etc. ; on considère ces combinaisons, soit comme des hydrochlorates de chlorures, soit comme des chlorures doubles d'un métal et d'hydrogène.

Oxides. Il y a des chlorures qui se combinent avec les oxides du métal qu'ils contiennent, tantôt par *voie humide*, tantôt par *voie sèche*. On obtient les *oxi-chlorures* par *voie humide*, en ajoutant à une dissolution de chlorure une quantité d'alcali caustique insuffisante pour précipiter tout le métal. Un grand nombre de chlorures se combinent aussi Ammoniaque. avec l'ammoniaque gazeuse ou liquide : on appelle les composés qui en résultent des *ammonio-chlorures*.

Chlorures. Beaucoup de chlorures métalliques peuvent se combiner entre eux et avec les chlorures alcalins ; mais en général ces combinaisons sont peu stables, du moins celles faites Sulfures. par *voie humide*, qui pour la plupart sont décomposées par l'eau. Les chlorures se combinent aussi avec les sulfures par *voie sèche*, et même plus souvent encore par *voie humide*.

Sels Tous les chlorures en dissolution sont décomposés

par les sels d'argent, de plomb ou de protoxide de mercure.

On connaît quelques combinaisons de chlorures et de sels : ainsi le chlorure et le sulfate de plomb se fondent ensemble, et le même chlorure se trouve dans la nature, combiné avec le phosphate et l'arséniate de plomb, etc.

Dans les chlorures correspondant aux oxides, pour une même quantité de métal, la quantité de chlore est à la quantité d'oxigène : : 4,4265 : 1,0000. 2 atomes de chlore équivalent à 1 atome d'oxigène. Composition.

Pour reconnaître la présence du chlore dans une combinaison, par un essai au chalumeau, on fait fondre du sel de phosphore avec la quantité d'oxide de cuivre qu'il peut dissoudre, puis on introduit dans la perle une petite quantité de la matière à éprouver; en chauffant de nouveau, s'il y a du chlore, le mélange en fusion s'entoure d'une belle flamme bleue tirant sur le pourpre, et cette flamme subsiste jusqu'à ce que tout le chlore se soit vaporisé. Chalumeau.

On obtient les chlorures par l'un ou quelques-uns des moyens suivans : 1°. par l'action du chlore gazeux sur les métaux ou sur leurs oxides, purs ou mêlés de charbon, ou sur leurs sulfures; 2°. par l'action de l'acide hydro-chlorique sur les métaux ou sur leurs oxides, 3°. par l'action de l'eau régale, contenant un excès d'acide muriatique, sur les métaux; 4°. en chauffant un métal avec du perchlorure de mercure, 5°. par double décomposition, et 6°. en chauffant un hydro-chlorate avec du sel ammoniac. Préparation.

On facilite la chloruration des métaux électro-négatifs, tels que les chrysides, en ajoutant au métal un chlorure de métal électro-positif, tel qu'un chlorure alcalin.

2°. *Hydro-chlorates d'oxides.* — Tout ce que nous avons dit des sulfures s'applique aux chlorures. On peut considérer ces derniers, quand ils sont dissous, soit comme des chlorures métalliques, soit, comme des

hydro-chlorates d'oxides dans lesquels l'oxigène de la base est à l'hydrogène de l'acide dans le même rapport que dans l'eau. Comme la plupart des dissolutions reproduisent des chlorures purs par l'évaporation à sec, il est plus simple d'admettre qu'elles renferment les chlorures tout formés, plutôt que de supposer qu'elles contiennent des hydro-chlorates qui changent de nature par la dessiccation. Cependant il est certain que l'acide hydro-chlorique forme des sels, puisqu'il se combine avec l'ammoniaque et avec les bases organiques.

Composition. Dans les hydro-chlorates d'oxides, s'il en existe, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'acide : : 1 : 4,55129 pour les sels neutres, et 100 d'acide saturent une quantité de bases qui contient 21,95 d'oxigène.

Transformation. Dans l'ancienne hypothèse qui faisait du chlore un corps oxigéné, les chlorures étaient désignés sous le nom de *muriates*, et étaient considérés comme des sels dans lesquels la quantité d'oxigène de la base était à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 2, et par conséquent à la quantité d'acide : : 1 : 3,4265, 100 d'acide saturant une quantité de base contenant 29,18 d'oxigène. Lorsqu'on a la composition d'un muriate en acide et en oxide, on a celle du chlorure qui lui est équivalent en métal et en chlore, en ajoutant à l'acide la quantité d'oxigène que l'on suppose combinée dans l'oxide; ce qui est évident. Réciproquement pour obtenir la composition en acide muriatique et en oxide d'un composé considéré comme chlorure, il faut ajouter au métal la quantité d'oxigène qu'il est susceptible d'absorber, et qui doit l'oxider, et retrancher cette même quantité du poids du chlore, ce qui donne l'acide. Cette quantité d'oxigène est à la quantité de chlore combinée au métal : : 1 : 4,4265, et à la quantité d'acide muriatique : : 1 : 3,4265.

3°. *Hydro-chlorates de chlorures.* — L'acide hydrochlorique forme avec quelques chlorures des combinai-

sons qu'on peut obtenir à l'état solide et cristallin, par exemple avec le deutochlorure d'or. Ces combinaisons se changent en chlorures par la chaleur, en abandonnant leur acide hydro-chlorique.

4°. *Oxi-chlorures.* — Les *oxi-chlorates* sont ce que l'on nommait autrefois les *sous-muriates*. On en obtient par *voie sèche* et par *voie humide*.

Les *ammonio-chlorures* sont analogues aux oxi-chlorures. On connaît des *ammonio-chlorures* de zinc, de mercure et d'étain.

5°. *Chlorures d'oxides ou chlorites.* — On a considéré pendant long-temps comme des *chlorates d'oxides* les combinaisons qui se forment quand on fait passer du chlore en excès dans des dissolutions alcalines ou sur des hydrates de terres alcalines réduites en bouillie; mais tout porte à croire maintenant que ce sont des *chlorites* d'oxides mêlés de chlorures métalliques. Il paraît qu'il peut se former plusieurs combinaisons analogues avec les oxides métalliques. Ces combinaisons sont peu stables : à une certaine température elles se changent en un mélange de chlorures et de chlorates, et à une chaleur plus forte, en chlorures purs; ou bien elles laissent des oxides purs. Elles décolorent la dissolution d'indigo. Tous les acides les décomposent, même l'acide carbonique, et en dégagent tout le chlore; elles attaquent beaucoup de métaux, ainsi que leurs sulfures, et amènent tous les oxides au *maximum* d'oxidation.

6°. *Chlorates* ou *muriates oxigénés.* — Les *chlorates* métalliques proprement dits sont sans importance; on n'a étudié que ceux à base d'alcali et de terres alcalines. Nous dirons ici un mot de ces derniers, parce qu'on emploie quelquefois le chlorate de potasse comme oxidant.

Les chlorates alcalins sont changés par la chaleur en chlorures métalliques avec dégagement d'une grande quantité de gaz oxigène, parce que ce gaz provient en même temps de l'acide et de la base. Si la chaleur est inférieure à 400°, il se transforme en un mélange de chlorure et d'hyperchlorate, avec dégagement d'une cer- Calcination. Corps oxidables.

taine quantité d'oxigène. Ils brûlent les combustibles et la plupart des métaux, et souvent avec détonation : ils forment des poudres qui fulminent par le choc, avec le phosphore et plusieurs autres substances.

Acides. Ils sont solubles dans l'eau et cristallisables. Tous les acides forts les décomposent à froid ; et l'acide chlorique qui est mis à nu se décompose instantanément en oxigène, chlore, et en oxide de chlore de couleur orange.

Sels d'argent. Ils ne sont pas troublés par les sels d'argent, parce que le chlorate d'argent est soluble.

Composition. Dans les chlorates neutres la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide : : 1 : 9,4265. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 10,54 d'oxigène.

Préparation. On prépare les chlorates alcalins en faisant passer du chlore en excès dans une dissolution d'alcali caustique ou carbonaté, et faisant cristalliser ; il se forme un chlorure d'oxide ou un chlorite qui, par le rapprochement de la dissolution, se change en chlorure métallique et en chlorate : ce dernier moins soluble que le premier se sépare en cristaux. Quand on emploie un carbonate l'acide carbonique ne commence à se dégager qu'à l'instant où la partie d'alcali non encore combinée au chlore est saturée d'acide.

Caractères. 7°. *Perchlorates, oxi-chlorates* ou *hyperchlorates*. — Tous les *hyperchlorates* fusent plus ou moins vivement sur les charbons incandescens. Ils affectent en général, dans leur cristallisation, la forme prismatique. Il n'y a que ceux de potasse, d'ammoniaque, de plomb et de protoxide de mercure, qui ne soient pas déliquescens ; tous les autres sont très solubles dans l'alcool. Ils diffèrent des chlorates, en ce qu'ils ne se colorent pas en jaune comme ceux-ci, par l'action des acides sulfurique ou muriatique concentrés.

Composition. Dans les hyperchlorates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 7.

ARTICLE XII. — *Composés brômés.*

Les combinaisons du *brôme* sont analogues à celles du chlore; mais on ne connaît bien que, 1°. les *brômures simples* ou *multiples*, 2°. les *brômures d'oxides* ou *brômites*, et 3°. les *brômates*.

1°. *Brômures.* — Les brômures sont en général très-fusibles, et il y en a de volatils. Les uns sont solubles, et les autres insolubles : ceux de plomb et d'argent sont les seuls insolubles. A l'état solide ils sont décomposés par le chlore, avec dégagement de brôme. Lorsqu'ils sont en dissolution ils jaunissent, et laissent dégager du brôme par l'addition du chlore ou de l'acide nitrique, à l'aide de la chaleur : si l'on ajoute en même temps de l'amidon cette substance se colore en brun. Chauffés avec de l'acide sulfurique concentré, ils laissent dégager des vapeurs de brôme couleur de gaz nitreux, et mêlées d'acide sulfureux et d'acide hydro-brômique; si l'on ajoute du peroxide de manganèse au mélange, il ne se dégage que du brôme; un petit nombre de brômides, par exemple celui de mercure, résistent cependant à l'action de l'acide sulfurique. Chlore. Acides.

Au chalumeau les brômures colorent la flamme en bleu comme les chlorures; mais ce bleu tire plus sur le verdâtre. Chalumeau.

Dans les brômures correspondant aux oxides la quantité de brôme est à la quantité d'oxigène :: 9,411 : 1,000. Composition.

On prépare les brômures de la même manière que les iodures. (*Voy.* page 581.) Préparation.

2°. *Brômures d'oxides* ou *brômites.* — Ils sont analogues aux chlorures, et se préparent de la même manière.

3°. *Brômates.* — Ils sont analogues aux chlorates, et se préparent de la même manière; on peut aussi préparer les brômates métalliques en décomposant les sulfates par le brômate de baryte.

ARTICLE XIII. — *Composés iodés.*

Les combinaisons métalliques *iodées* sont : 1°. les *iodures simples et doubles*; 2°. les *hydriodates d'oxides*; 3°. les *hydriodates d'iodures*; 4°. les *oxi-iodures*; 5°. les *iodures d'oxides* ou *iodites*; 6°. les *iodates*.

Caractères. 1°. *Iodures.* — Les *iodures* sont diversement colorés : il y en a un petit nombre qui sont doués de l'éclat métallique. La plupart sont fusibles, et beaucoup sont volatils. La chaleur décompose les iodures des chrysides. Par le grillage ils se décomposent presque tous avec dégagement d'iode. Le chlore en expulse l'iode à l'état de chlorure, à l'aide d'une chaleur plus ou moins élevée.

Acides. Les uns sont solubles et les autres insolubles. Traités par l'acide sulfurique concentré, il s'en dégage un mélange d'iode et d'acide sulfureux; si l'on ajoute du peroxide de manganèse au mélange il ne se dégage que de l'iode; les vapeurs colorent l'amidon en bleu. L'acide nitrique décompose mieux les iodures lorsqu'ils sont en dissolution, et l'amidon introduit dans la liqueur se colore en bleu. L'acide hydro-chlorique liquide n'a pas d'action sur eux; mais l'acide gazeux les décompose à chaud, et en dégage de l'acide hydriodique. L'acide hydriodique en dissout un certain

Oxides. nombre. Plusieurs iodures métalliques peuvent être obtenus par *voie humide*, combinés avec l'oxide

Iodures. du métal qu'ils contiennent. La plupart se combinent entre eux, et plus facilement encore avec les iodures alcalins. Enfin quelques-uns ont pu être combinés avec des chlorures, et avec des sulfures.

Chalumeau. Au chalumeau ils colorent la flamme en vert-émeraude.

Composition. Dans les iodures correspondant aux oxides, la quantité d'iode est à la quantité d'oxigène :: 1 : 15,3756.

Iode. Plusieurs iodures solubles sont susceptibles de dissoudre de l'iode; ils deviennent alors d'un rouge très

foncé; l'iode s'en dégage presqu'en totalité par la chaleur de l'ébullition; on les appelle alors *iodures iodurés* : ce sont de véritables *periodures* que la chaleur peut ramener au *minimum* d'ioduration.

Préparation. On prépare les iodures par l'un des moyens suivans : 1°. en chauffant un métal avec de l'iode; 2°. en précipitant une dissolution métallique par des iodures alcalins; 3°. en traitant un métal très oxidable par de l'iode et de l'eau. 4°. Pour avoir les iodures alcalins qui servent à préparer les iodures métalliques, le moyen le plus simple consiste à décomposer l'iodure de fer par un carbonate alcalin : à cet effet on prend 2 parties d'iode, 1 partie de limaille de fer, et environ 10 parties d'eau; on met ces substances dans une capsule de porcelaine, en commençant par l'eau et l'iode; on remue jusqu'à ce que la liqueur, qui devient bientôt d'un brun foncé, soit presque incolore; on met la capsule sur le feu, on pousse à l'ébullition, et l'on projette peu à peu dans la liqueur du carbonate de potasse, jusqu'à ce qu'il ne s'y forme plus de précipité; on filtre, et l'on fait cristalliser.

2°. *Hydriodates d'oxides.* — Ces sels existent, puisque l'acide hydriodique se combine avec l'ammoniaque et avec les bases organiques. On peut leur appliquer tout ce qui a été dit à l'égard des hydro-chlorates d'oxides.

3°. *Hydriodates d'iodures.* — M. Boullay a fait voir que plusieurs iodures, entre autres ceux de mercure, peuvent former avec l'acide hydriodique des composés en proportions définies, et susceptibles de cristalliser.

4°. *Oxi-iodures.* — Ils sont analogues aux oxi-chlorures.

5°. *Iodures d'oxides* ou *iodites.* — Ces composés ont été peu étudiés.

Calcination. 6°. *Iodates.* — Les *iodates* sont tous décomposés par la chaleur avec dégagement d'oxigène. Les iodates métalliques laissent tous de l'oxide et non un iodure

pour résidu; il se dégage de l'iode avec l'oxigène : il n'y a que les iodates alcalins qui se changent en iodures par la chaleur. Ils brûlent le charbon sans détonation. Ils sont insolubles ou très peu solubles. Le chlore ne les altère pas. L'acide sulfureux et l'acide hydro-sulfurique les décomposent, et en séparent de l'iode. L'acide hydro-chlorique les décompose aussi, mais avec formation de sous-chlorure d'iode.

Acides.

Composition. Dans les iodates neutres la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide : : 1 : 20,3746. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 4,90. d'oxigène.

Préparation. On les prépare le plus souvent par double décomposition avec les iodates alcalins, et pour avoir ceux-ci l'on sature de la potasse ou de la soude caustique avec de l'iode, et l'on fait cristalliser. On ne pourrait pas remplacer les alcalins caustiques par les carbonates, comme cela se fait pour les chlorates et les brômates. Lorsqu'on traite les chlorures d'iode par un alcali, il se forme un *chlorure* et un *iodate*.

ARTICLE XIV. — *Composés fluorés.*

Les combinaisons *fluorées* que l'on connaît, sont : 1°. les *fluorures simples et multiples;* 2°. les *hydro-fluates d'oxides;* 3°. les *hydro-fluates de fluorures;* 4°. les *oxi-fluorures;* 5°. les *fluo-borates;* et 6°. les *fluo-silicates.*

Calcination. 1°. *Fluorures.* — Aucun *fluorure* n'a l'éclat métallique. La plupart sont fusibles et indécomposables par la chaleur lorsqu'ils sont anhydres; mais beaucoup se décomposent avec dégagement d'acide hydro-fluorique, quand ils contiennent de l'eau de cristallisation ou quand il y a présence de vapeurs d'eau. Il y en a de volatils.

Charbon. Ils sont inaltérables par le charbon calciné lorsqu'ils sont anhydres.

Les uns sont solubles dans l'eau, et même déliquescens; les autres sont insolubles; mais la plupart se dissolvent dans l'acide fluorique et dans les acides nitrique et muriatique. L'eau en décompose plusieurs en oxi-fluorures insolubles, et en hydro-fluates de fluorure qui restent dans la liqueur. Eau.

L'acide sulfurique n'attaque pas les fluorures privés d'eau; et lorsqu'on ajoute du peroxide de manganèse au mélange, il ne se dégage pas de fluor; mais l'acide sulfurique hydreux concentré les dissout à froid, et les décompose tous à l'aide d'une chaleur peu élevée, et il se dégage de l'acide hydro-fluorique, gaz piquant qui répand des vapeurs blanches dans l'air, corrode le verre, et est très délétère. Acides.

L'acide borique et la silice les décomposent en partie par *voie sèche;* il se dégage du gaz fluo-borique ou fluo-silicique, et il se forme un fluo-borate ou un fluo-silicate.

Ils absorbent les gaz fluo-borique et fluo-silicique.

Les fluorures ont grande tendance à se combiner les uns avec les autres, surtout les fluorures des métaux électro-négatifs, tels que ceux de titane, de tantale; les fluorures des métaux terreux, avec les fluorures des métaux électro-positifs : ces composés sont en général peu solubles et presque sans couleur. Fluorures.

On sait que par *voie sèche* quelques fluorures peuvent se combiner avec des chlorures ou avec des sulfures. Chlorures.

On connaît aussi des combinaisons de fluorures avec des sels, particulièrement avec des sulfates, des borates et des silicates : ces combinaisons sont en général très fusibles. Sels.

On reconnaît la présence du fluor par un essai au chalumeau. 1°. Lorsque la matière en contient beaucoup, en la chauffant avec du sel de phosphore à l'extrémité d'un tube de verre, et en faisant passer les vapeurs qui se dégagent dans un tube ouvert, Chalumeau.

elles corrodent ce tube, et elles ont la propriété de jaunir le papier de Fernambouc. 2°. Lorsqu'il y a peu de fluor, en chauffant la matière à la lampe dans un tube de verre bouché, il s'en dégage du gaz fluo-silicique qui jaunit le papier de Fernambouc, et qui dépose un anneau terne de silice dans le tube.

Composition. Dans les fluorures correspondant aux oxides, la quantité de fluor est à la quantité d'oxigène : : 2,338 : 1,000.

Préparation. On n'a pas d'autres moyens de préparer les fluorures que de traiter par l'acide fluorique les oxides ou les métaux lorsque ceux-ci sont attaquables, ou par double décomposition.

2°. *Hydro-fluates d'oxides.* — On peut appliquer aux fluorures dissous dans l'eau ce que nous avons dit relativement aux chlorures.

3°. *Hydro-fluates de fluorures.* — Ces combinaisons sont en grand nombre; on les connaissait autrefois sous le nom de *fluates acides.* Elles résultent de l'action de l'acide hydro-fluorique sur les fluorures ou sur les oxides non en excès, ou encore de la décomposition de certains fluorures par l'eau. Ils ont tous la réaction acide. La chaleur change le plus grand nombre en fluorures, avec dégagement d'acide hydro-fluorique. Leurs dissolutions corrodent le verre.

4°. *Oxi-fluorures.* — Nous avons dit que beaucoup de fluorures traités par l'eau laissaient un résidu insoluble d'*oxi-fluorures.* Il est probable que l'on pourrait obtenir aussi divers oxi-fluorures par *voie sèche.*

5°. *Fluo-borates.* — On donne le nom de *fluo-borates* à deux classes différentes de composés : les uns sont des fluorures doubles contenant du fluorure de bore ou acide fluo-borique pour un de leurs élémens; et les autres sont formés de fluorure de bore et de borates.

Les premiers sont généralement solubles et susceptibles de cristalliser; ils laissent dégager de l'acide fluo-

borique par la chaleur. Les composés de fluorure de bore et de borates n'ont pas été étudiés.

6°. *Fluo-silicates.* — Les *fluo-silicates* sont analogues aux fluo-borates. Il y des fluorures doubles de silicium et de métaux, et des composés de fluorure de silicium et de silicates métalliques.

Propriétés. Les fluorures doubles sont décomposés par une température plus ou moins élevée; le fluorure de silicium se dégage, et il reste un fluorure métallique. La plupart sont très solubles. Ils ont une saveur amère-acidule et semblable à celle de la crème de tartre. Ils rougissent le tournesol. La plupart sont décomposés par l'acide sulfurique avec dégagement de fluorure de silicium; ils ne sont décomposés qu'en partie par les acides nitrique et muriatique. Les alcalis précipitent de leurs dissolutions des bisilicates métalliques.

Composition. Ces combinaisons sont formées de 2 atomes de fluorure de silicium et 1 atome de fluorures métalliques.

Préparation. On les obtient en faisant dissoudre des oxides sans excès dans le fluorure de silicium liquide, ou acide fluo-silicique, lequel est une combinaison de 1 atome d'acide hydrofluorique et de 2 atomes de fluorure de silicium; ou encore en traitant les fluorures par le fluorure de silicium gazeux.

Fluorures. Il est certain qu'il existe des composés formés de fluorure de siliciuin et de silicates : on en trouve quelques-uns dans la nature. La topaze et la pycnite sont de ce genre; mais ces composés ont été peu étudiés, et l'on n'a pas examiné ceux qui contiennent un métal proprement dit.

ARTICLE XV. — *Composés borés.*

Calcination. *Borates.* — Les *borates* sont en général fusibles, et la plupart sont même très fusibles; ils le sont d'autant plus qu'ils renferment plus d'acide. Ceux qui contiennent un certain excès de cet acide sont en partie décomposés par une très forte chaleur qui volatilise peu à peu cet excès, et les amène à un certain degré de saturation au-

quel ils sont inaltérables : aucun n'est décomposable en totalité.

Cristallisation. Les borates ont une grande tendance à cristalliser : on peut les obtenir presque tous sous des formes régulières, en les faisant refroidir lentement après les avoir mis en pleine fusion.

Charbon. Ceux dont les bases sont aisément réductibles par le charbon laissent réduire ces bases quand on les chauffe à une température suffisamment élevée, dans un creuset brasqué, et l'acide se volatilise : quelquefois une petite partie de cet acide se réduit en même temps que l'oxide, et le bore mis à nu se combine avec le métal. Les borates, dont les bases sont difficilement réductibles, comme les oxides de manganèse, etc., n'en laissent réduire qu'une partie par le charbon, et sont amenés à ne contenir qu'une certaine proportion *minimum* de ces bases. La présence de l'acide borique ou d'un borate alcalin diminue la réductibilité des oxides ; néanmoins, lorsqu'on veut préparer un métal avec ceux-ci, il est souvent avantageux d'employer une petite quantité d'acide borique ou de borax : mais alors on élève suffisamment la température, pour que la réduction puisse avoir lieu. L'action utile du fondant consiste à dissoudre les matières étrangères que peut contenir l'oxide et les parties de cet oxide non réduites, et à faciliter la réunion des particules métalliques en une seule masse.

Solubilité. Les borates neutres sont insolubles dans l'eau ; mais beaucoup se dissolvent dans un excès d'acide et même dans

Acides. les borates alcalins. Ils sont tous insolubles dans l'alcool. Les acides nitrique, sulfurique, muriatique, etc., les décomposent par la *voie humide ;* l'acide borique se sépare en petites écailles. Il y en a qui sont décomposés, même par l'acide carbonique, sous une forte pression : au contraire l'acide phosphorique ne les décompose pas à un degré de chaleur quelconque. Avec la silice il se forme des boro-silicates ; les mêmes combinaisons se produisent lorsque l'on fait chauffer ensemble des borates avec des silicates ; et si l'on chauffe très fortement, il peut arriver qu'une partie de l'acide borique se volatilise.

Dans les borates neutres la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide : : 1 : 6, et par conséquent à la quantité d'acide : : 1 : 8,7196. 100 d'acide saturent des quantités de bases qui contiennent 11,47 d'oxigène. Composition.

On prépare les borates par *voie sèche* en chauffant les oxides avec de l'acide borique; mais il est presque impossible de les obtenir à un degré de saturation déterminé d'avance, parce qu'une certaine portion variable de l'acide employé se volatilise toujours avant que la combinaison ait pu avoir lieu. Pour parvenir à un résultat précis, il faudrait préparer des borates très acides, dont il serait aisé de connaître la composition, et les fondre de nouveau avec une quantité de bases qui pût les amener au degré voulu de saturation. Préparation.

Par la *voie humide* on obtient les borates en précipitant les dissolutions métalliques, aussi neutres que possible, avec des dissolutions de borates alcalins.

ARTICLE XVI. — *Composés silicés.*

Silicates. — Il n'y a rien de général relativement à la fusibilité des *silicates*. Cette fusibilité paraît dépendre de trois causes : 1°. de la force électro-positive de la base; 2° de la fusibilité propre de cette base; et 3°. de la proportion qu'en renferme le silicate. Pour les oxides de même famille, ceux qui produisent les silicates les plus fusibles sont ceux qui sont les plus électro-positifs. Les silicates métalliques qui fondent le plus facilement sont ceux de plomb, d'argent, de bismuth, de cuivre, de fer et de manganèse. Les silicates dont les bases sont très fusibles sont moins fusibles que ces bases, et d'autant moins qu'ils renferment plus de silice (plomb, bismuth, etc.); au contraire les silicates qui renferment des bases peu fusibles sont plus fusibles que celles-ci, et il y a même des bases infusibles qui peuvent former avec la silice des composés susceptibles d'être fondus. Dans ce dernier cas le silicate le plus fusible que puisse produire une base avec la silice est celui qui contient Fusibilité.

une certaine proportion moyenne de chacun de ses élémens : un excès de base ou un excès de silice diminue la fusibilité.

Silicates multiples.

Les silicates se combinent par *voie sèche*, en nombre quelconque et en toute proportion. La fusibilité de ces composés dépend de la nature des silicates élémentaires, de leur fusibilité propre et de leur proportion. Des silicates infusibles ou très difficilement fusibles peuvent, en se combinant, former des composés bien fusibles. En général on peut dire que la fusibilité des silicates multiples est toujours plus grande, et souvent beaucoup plus grande que la fusibilité moyenne des silicates élémentaires, lors même que ces silicates sont très fusibles par eux-mêmes. (*Voyez*, sur la fusibilité et les caractères des silicates, le chapitre des RÉACTIFS, page 419.)

Réductibilité.

La silice fait en général obstacle par sa présence à la réduction des oxides, et elle empêche la réduction, du moins complète, d'un certain nombre de ces oxides. Les silicates réductibles partiellement lorsqu'on les chauffe au contact du charbon, retiennent d'autant moins d'oxide qu'on les soumet à une température plus élevée : quand on y ajoute une base très forte, comme un alcali ou une terre alcaline, ils laissent une plus grande proportion d'oxide se réduire, et cette réduction a lieu à une température plus basse. La réduction est facilitée aussi par l'addition de l'acide borique ou du borax.

Obstacle.

La fusibilité des silicates est souvent cause que leur réduction en grand est difficile à opérer. Ces silicates sont en général concassés grossièrement et jetés dans des hauts-fourneaux, ou dans des fourneaux à manche, au milieu du charbon. Chaque morceau se réduit peu à peu par voie de cémentation. Pour que la réduction soit complète il faut un certain temps : or si avant qu'elle ait eu lieu ces morceaux arrivent dans une partie du fourneau assez échauffée pour qu'ils puissent se fondre, ils se liquéfient en effet; la matière s'écoule et tombe dans le creuset, où, n'étant plus en contact avec le charbon, elle se

combine avec les scories sans se réduire. Si l'on veut que la réduction soit complète, il faut concasser le silicate en très petits morceaux, le mêler intimement avec le charbon et avec les fondans qui doivent former des scories fusibles avec la silice, élever beaucoup le fourneau, et le faire marcher lentement, afin que la matière séjourne long-temps au milieu des charbons, et qu'elle ne passe que lentement par des degrés de température de plus en plus élevés, jusqu'à la plus haute chaleur possible. Si au contraire on a besoin de ne les réduire qu'en partie, on doit les passer dans des fourneaux bas, mais marchant lentement, afin que la chaleur y soit modérée, et que la matière reste pourtant, pendant un temps suffisant, en contact avec le charbon : c'est ainsi que l'on traite, en Saxe et en Bohème, les scories ferro-stannifères, pour en extraire de l'étain peu ferrugineux.

Acides.

Les silicates métalliques sont tous insolubles dans l'eau. Les acides agissent diversement sur eux selon leur nature et leur degré de saturation, et selon qu'ils contiennent ou qu'ils ne contiennent pas d'eau de cristallisation. A un même degré de saturation, les silicates hydreux sont beaucoup plus facilement attaquables par les acides, que les silicates anhydres. Pour une même quantité de bases différentes, ils le sont d'autant plus facilement aussi que la base est plus forte; enfin les silicates des mêmes bases se laissent d'autant plus facilement attaquer par les acides, que la base s'y trouve en plus grande proportion. Quand la silice domine dans un silicate quelconque, même à base alcaline, il est inattaquable par tous les acides, excepté par l'acide fluorique. Quand un silicate est attaquable par un acide étendu, il s'y dissout à froid ou à l'aide d'une douce chaleur; mais en rapprochant la dissolution, la silice s'en sépare sous la forme d'une gelée transparente. L'acide fluorique liquide, gazeux, ou à l'état naissant, produit par un mélange de spath-fluor et d'acide sulfurique, attaque tous les silicates sans exception avec une effervescence due au dégagement du gaz fluo-silicique :

l'action a souvent lieu même à froid. L'acide phosphorique et le sel de phosphore décomposent les silicates par la *voie sèche;* et lorsque la silice y est en proportion un peu grande, elle reste en suspension dans le verre, et hors de combinaison. L'acide borique les décompose aussi, ou plutôt s'y combine en donnant naissance à des boro-silicates; sels qui peuvent être des composés de borates et de silicates ou de borates d'oxides et de borates de silice.

Alcalis, etc. Les silicates inattaquables par les acides, par *voie humide,* le deviennent lorsqu'on les chauffe avec une base forte quelconque en excès, par exemple avec les alcalis, les terres alcalines ou la litharge, ou avec les carbonates ou nitrates de ces bases; l'acide borique, les borates et les sulfates acides alcalins les rendent également attaquables.

Chalumeau. Au chalumeau, les silicates font effervescence avec le carbonate de soude; et ils produisent un verre transparent avec ce sel, quand ils contiennent une forte proportion de silice; mais quand au contraire la base y domine et est infusible par elle-même, elle se sépare, absorbe le verre alcalin, et l'on a une masse scoriforme non fondue.

Composition. Dans les silicates neutres la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 5,773 : 100 d'acides saturent des quantités de base qui contiennent 17,32 d'oxigène.

ARTICLE XVII. — *Composés carbonés.*

1°. *Carbures.* — Les *carbures* qui résultent de la décomposition des cyanures et des sels organiques, par la chaleur, sont la plupart pyrophoriques, et s'enflamment lorsqu'on les expose à l'air avant qu'ils soient tout-à-fait froids. Quand on les chauffe à un certain degré de chaleur, à l'abri du contact de l'air, ils entrent en ignition; phénomène qui paraît provenir de ce qu'il s'établit une combinaison plus intime entre le métal et le carbone.

2°. *Carbonates.* — Les *carbonates* sont tous décomposés complètement à la chaleur rouge; quand la base est très oxidable, elle se suroxide, et il se dégage un mélange d'acide carbonique et d'oxide de carbone : c'est ce qui arrive avec le carbonate de fer. L'hydrogène et le charbon les décomposent aisément à l'aide de la chaleur, en changeant l'acide carbonique en oxide de carbone. Calcination. Réductif.

Ils sont insolubles dans l'eau pure; mais ils s'y dissolvent la plupart en petite quantité à la faveur de l'acide carbonique. Les acides les plus faibles en expulsent l'acide carbonique; cependant il y a des carbonates natifs, le carbonate de fer par exemple, qui ne sont attaquables que par les acides forts. Acides.

Dans les carbonates les plus ordinaires la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 2, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 2,7533, et 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 36,22 d'oxigène. Composition.

Les précipités que forment les carbonates alcalins dans les dissolutions métalliques sont la plupart des *carbonates hydreux* ou des combinaisons d'hydrates et de carbonates. On obtient difficilement les carbonates anhydres; mais il en existe un certain nombre à l'état natif.

3°. *Oxalates* ou *carbonites.* — Les *oxalates* métalliques se décomposent par la calcination en vase clos, avec dégagement d'acide carbonique pur ou d'un mélange d'acide carbonique et d'oxide de carbone : le résidu est du métal pur ou de l'oxide pur, et ne renferme jamais de charbon. Calcination.

Plusieurs oxalates sont solubles dans l'eau; il y en a qui sont insolubles dans l'eau, et qui se dissolvent dans l'acide oxalique, et d'autres qui sont insolubles même dans un grand excès de cet acide. Ils sont complètement décomposés par l'acide sulfurique concentré, avec dégagement d'acide carbonique et d'oxide de carbone; les autres acides minéraux les dissolvent, ou, lorsqu'ils ne les dissolvent pas, les transforment le plus souvent en oxalates acides, sans les décomposer complètement. Ils ont grande tendance à former des sels doubles. Solubilité. Acides.

Composition. Dans les oxalates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 4,5287. 100 d'acide saturent une quantité de base qui renferme 22,07 d'oxigène. Lorsque les oxalates neutres se réduisent par la chaleur, il ne se dégage que de l'acide carbonique sans mélange d'oxide de carbone; quelques chimistes les considèrent, à cause de cela, comme des composés de métal non oxidé et d'acide carbonique.

Calcination. 4°. *Acétates.* — Tous les *acétates* sont facilement décomposables par la chaleur; ceux qui renferment des bases très faibles, comme l'acétate de peroxide de fer, se décomposent par la simple évaporation à siccité, avec dégagement d'acide acétique pur; les autres donnent d'abord de l'acide acétique concentré, puis de l'esprit pyro-acétique et des gaz combustibles : le résidu est du protoxide ou un carbure pyrophorique. L'acétate d'argent est de tous les acétates celui qui donne l'acide le plus concentré et le plus pur.

Solubilité. Les acétates sont tous solubles dans l'eau, et il y en a un grand nombre qui sont déliquescens et solubles dans l'alcool : les moins solubles sont ceux d'argent et de mercure. Lorsqu'ils sont en dissolution, ils se décomposent spontanément, se couvrent de moisissures, et au bout d'un certain temps ils se convertissent en carbonates. Ils ont tous la propriété de colorer en rouge-brun les dissolutions de peroxide de fer. Ils sont décomposés par les acides minéraux.

Composition. Dans les acétates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 6,4112. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 15,596 d'oxigène.

Caractères. 5°. *Succinates, benzoates.* — Les *succinates* et les *benzoates* sont facilement décomposés par la chaleur; la plupart sont solubles dans l'eau, et plus encore dans un Composition. excès d'acide; mais il y en a d'insolubles. Dans les sels neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 3.

Tartrates. — Les tartrates, en se décomposant par la chaleur, laissent un résidu qui renferme toujours beaucoup de charbon. La plupart des tartrates neutres métalliques sont insolubles dans l'eau, mais plus ou moins solubles dans un excès d'acide tartrique. Ils ont grande tendance à se combiner entre eux, et plus encore avec les tartrates alcalins : presque tous se dissolvent dans ces derniers. Caractères.

M. H. Rose a trouvé que lorsqu'on ajoute une suffisante quantité d'acide tartrique aux dissolutions de protoxide et de peroxide de fer, d'oxide de titane, de cérium, de manganèse, de cobalt, de nickel, d'antimoine et de plomb, ces dissolutions ne sont précipitées ni par l'eau, ni par les alcalis ou leurs carbonates, ni par les succinates, et que quelques-unes même ne sont pas troublées par les hydro-sulfates. Les acides forts ne décomposent pas totalement les tartrates, et ne les amènent qu'à l'état de sels acides.

Dans les tartrates neutres, la quantité d'oxigène de la base est à la quantité d'oxigène de l'acide :: 1 : 5, et par conséquent à la quantité d'acide :: 1 : 8,345. 100 d'acide saturent une quantité de base qui contient 11,94 d'oxigène. Composition.

ARTICLE XVIII. — *Composés carbo-azotés* ou *cyanés.*

Les combinaisons que le cyanogène forme avec les métaux sont en très grand nombre : on distingue des *cyanures* et des *hydro-cyanates* simples, des *cyanures* et des *hydro-cyanates* doubles, des *cyanures d'oxides*, des *oxi-cyanures*, des *sulfo-cyanures*, etc., des *cyanates* et des *fulminates*. Nous ne nous arrêterons qu'aux combinaisons principales.

Cyanures. — Les *cyanures simples* sont en général très peu permanens, et l'on a rarement occasion de les examiner, si ce n'est le *cyanure de mercure.* (Voy. *Mercure.*)

Les *cyanures* et les *hydro-cyanates doubles* sont au contraire très importans : on les nomme vulgairement *prussiates.* On peut en former avec les cyanures à base de

métal alcalin ou terro-alcalin, d'une part, et les cyanures métalliques, de l'autre part, et avec les cyanures et les hydro-cyanates métalliques entre eux; dans tous les cas ce sont ou des cyanures ou des hydro-cyanates doubles, et jamais des composés de cyanures et d'hydro-cyanates. Avec les bases fortes ce sont des cyanures : tels sont ceux qui renferment des métaux alcalins ou terro-alcalins, du plomb, de l'argent, etc.

Ces composés sont tous détruits par une chaleur plus ou moins élevée, les cyanures avec dégagement de gaz azote, les hydro-cyanates avec dégagement d'ammoniaque et d'acide carbonique. Le résidu et un carbure métallique, ou un mélange intime de métal et de charbon. Lorsque l'un des élémens du cyanure double est un cyanure alcalin, l'autre cyanure métallique se décompose avant celui-ci, et l'on peut obtenir ce dernier en le dissolvant dans l'eau. Les cyanures sont tous très facilement décomposés par le grillage.

Les cyanures doubles alcalins et alcalino-terreux sont la plupart solubles, les autres sont insolubles. Les métaux contenus dans les dissolutions ne sont précipités ni par les alcalis, ni par leurs carbonates, ni même par les hydro-sulfates.

Les alcalis décomposent les cyanures doubles métalliques et en séparent l'un des métaux à l'état d'oxide, tandis qu'il se forme un cyanure double avec l'autre métal et le radical de l'alcali.

Usages. On emploie comme réactif le prussiate jaune de fer, combinaison de cyanure de potassium et de *protocyanure de fer;* et le prussiate rouge du même métal, combinaison de cyanure de potassium et de *percyanure de fer.* (Voy. *Fer.*)

Préparation. On obtient les cyanures alcalins doubles en chauffant au rouge un mélange de charbon animal, ou d'une matière animale quelconque, avec du carbonate de potasse ou de soude, et le métal que l'on veut introduire dans la combinaison, ou même l'oxide de ce métal, lorsqu'il est facilement réductible.

Lorsqu'on précipite une dissolution métallique par un cyanure alcalin double, le précipité qui se forme est dans la plupart des cas un cyanure double dans lequel le cyanure alcalin est remplacé par son équivalent de cyanure du métal tenu en dissolution. Avec les dissolutions de peroxide de fer le précipité est un hydrocyanate de protoxide et de peroxide de ce métal. Composition.

Dans les cyanures doubles alcalins, le métal alcalin contient deux fois autant de cyanogène que l'autre métal.

On obtient un *sulfo-cyanure* alcalin en chauffant à une chaleur ménagée un cyanure alcalin double avec du soufre. On peut produire des combinaisons analogues avec le sélénium, mais non pas avec le tellure.

Les *cyanates métalliques* chauffés dans un tube de verre se décomposent en répandant une forte odeur de vinaigre, sans dégagement d'ammoniaque ni d'eau, mais seulement d'acide carbonique et d'azote, dans le rapport de 2 à 1 en volumes. Les acides forts les décomposent avec production d'odeur de vinaigre. Ils ne donnent pas de bleu de Prusse avec les sels de fer. L'acide et la base renferment une quantité égale d'oxigène.

Les *fulminates* sont identiques, par leur composition, avec les cyanates; mais leurs propriétés sont toutes différentes. Ils se décomposent avec détonation violente et souvent dangereuse, à une faible chaleur, par le choc, et souvent par le plus léger frottement. On les prépare en traitant les métaux par un mélange d'acide nitrique et d'alcool.

ARTICLE XIX. — *Alliages.*

Les alliages sont tous doués de l'éclat métallique; ils sont solides, à l'exception des amalgames, qui sont souvent mous et quelquefois liquides. Quelques-uns ont une odeur et une saveur particulières. Il en est qui jouissent d'une élasticité et d'une sonorité remarquables. En général ils sont plus durs et moins ductiles que leurs composans. On remarque que les alliages des métaux cassans sont cassans eux-mêmes; que les alliages des mé- Caractères.

taux ductiles sont le plus souvent ductiles, mais quelquefois cassans; que les alliages des métaux ductiles et des métaux cassans sont toujours cassans lorsque ces derniers dominent, et tantôt cassans et tantôt ductiles lorsqu'au contraire c'est le métal ductile qui domine.

Les alliages sont souvent moins ductiles à chaud qu'à froid, ou du moins à une chaleur forte qu'à une chaleur faible : ils sont même souvent cassans à une certaine température plus ou moins élevée. Cela a lieu lorsque l'un des métaux alliés est fusible à cette température, parce qu'alors il tend à s'en séparer. C'est ainsi que le laiton, alliage de cuivre et de zinc, très ductile à froid, devient fragile à une température peu élevée.

Densité. La densité des alliages est tantôt plus forte et tantôt moindre que la densité moyenne des métaux qu'ils renferment. Suivant Gellert et Kraft, elle est plus forte dans les alliages de l'or avec l'argent, le plomb, le bismuth et le zinc; dans les alliages de l'argent avec le cuivre, le plomb, l'étain, le bismuth, le zinc et l'antimoine; dans les alliages du cuivre avec l'étain, le zinc et l'antimoine; dans les alliages du plomb avec le zinc, le bismuth et l'antimoine; dans les alliages du mercure avec l'étain et l'antimoine; et enfin dans les alliages de bismuth et d'antimoine. Au contraire elle est moindre dans les alliages de l'or avec le cuivre, le fer et l'étain; dans les alliages du platine avec le cuivre; dans les alliages du fer avec l'antimoine, le bismuth, le zinc, le cuivre et le plomb; dans les alliages du zinc avec l'antimoine; dans les alliages du cuivre avec le plomb; dans les alliages de l'étain avec le plomb, le zinc et l'antimoine; et enfin dans les alliages du mercure avec le bismuth : elle est à peu près égale à la moyenne dans les alliages du cuivre avec le bismuth. Suivant M. Kupfer, il y a toujours dilatation dans les alliages de plomb et d'étain, mais cette dilatation varie selon la proportion relative des deux métaux.

Changement de température. Les métaux, en s'alliant, dégagent ordinairement de la chaleur comme les autres corps; cependant on connaît

quelques cas dans lesquels il y a au contraire abaissement de température. Selon M. Dobenirer, quand on unit ensemble 1 atome d'alliage de bismuth et de plomb avec 1 atome d'alliage de bismuth et d'étain, il se produit du froid. Ayant mêlé ensemble 207 parties de plomb, 118 parties d'étain et 284 parties de bismuth avec 1616 parties de mercure à la température de 14°, il a observé que le thermomètre est descendu à — 8°.

Fusibilité. La fusibilité des alliages est en général moindre que celle du métal le plus fusible qu'ils contiennent; cependant quelquefois, au contraire, elle est plus grande. Ainsi l'alliage composé de

Plomb.....	0,340
Étain.....	0,194
Bismuth.....	0,466

se fond à la température de 79° Réaumur.

Liquation. Les alliages qui sont formés de métaux inégalement fusibles sont souvent décomposés, soit partiellement, soit presque totalement, par une chaleur suffisante seulement pour faire fondre le plus fusible. Lorsqu'on sépare de cette manière deux métaux alliés, on dit qu'on fait une *liquation*. On sépare par liquation la plus grande partie du plomb de ses alliages avec le cuivre, et une partie seulement de l'étain, de ses alliages avec le fer, etc.

Calcination. Les amalgames sont complètement décomposés par la chaleur; le mercure est sublimé, et il n'en reste que des traces dans le métal fixe.

Grillage. Lorsqu'on expose un alliage fondu au contact de l'air, le métal le plus oxidable s'oxide le premier, en entraînant une portion plus ou moins grande de l'autre métal; et, à une certaine époque, ce qui reste de ce dernier est tout-à-fait pur. On fait souvent cette opération en grand, par exemple pour séparer le plomb ou l'étain du cuivre.

Soufre. Le soufre sulfure les métaux alliés les uns après les autres, selon l'ordre de leurs affinités, à moins qu'ils n'aient une tendance particulière à former des sulfures doubles.

Composition. La plupart des métaux semblent pouvoir se combiner

entre eux en toutes sortes de proportions; cependant, comme lorsqu'il y en a de volatils on peut amener l'alliage à avoir une composition atomique, il y a lieu de croire que beaucoup d'alliages sont des mélanges de l'un des métaux en excès avec un composé en proportions définies. On observe que quand deux métaux ductiles se combinent, l'alliage le plus ductile qu'ils puissent produire les contient en proportions définies, et qu'un excès de l'un ou de l'autre, et surtout du moins ductile, altère les qualités de l'alliage (laiton). Il est d'ailleurs indubitable qu'il y a des métaux qui se mélangent par adhérence, sans former de véritables combinaisons : Le fer ne s'allie ni à l'argent, ni au plomb, ni au cuivre, et cependant, lorqu'on le fond avec un de ces métaux, il en retient quelques millièmes qui modifient ses propriétés physiques.

Lorsqu'un métal ductile et un alliage cassant, mais dur, peuvent être mélangés intimement, il en résulte souvent des amalgames métalliques très utiles, parce qu'ils sont à la fois tenaces et durs. Le bronze employé pour les canons, certains mélanges de fontes blanches et de fontes grises, sont dans ce cas.

préparation. On prépare les alliages par deux procédés principaux :

1°. En combinant les métaux directement, soit en les mélangeant à l'état solide avant de les fondre, soit en projetant le métal le moins fusible dans le métal le plus fusible préalablement liquéfié : il se développe une forte chaleur au moment du mélange;

2°. En réduisant par le charbon un mélange des oxides des métaux à allier, ou de l'un à l'état d'oxide et de l'autre à l'état métallique; par ce moyen on obtient facilement les alliages des métaux dont les oxides sont isolément très difficiles à réduire, les alliages du chrôme avec divers métaux, par exemple. Le mélange des oxides a sur le mélange des métaux l'avantage de donner des alliages beaucoup plus homogènes.

3°. Quelques alliages, mais en petit nombre, peuvent être obtenus par *voie humide*, certains amalgames, par exemple.

SECTION II.

De la manière d'être des métaux dans la nature, et des matières qui les accompagnent.

ARTICLE PREMIER. — *Manière d'être des métaux dans la nature.*

§ 1er. États sous lesquels on trouve les métaux.

Les métaux se trouvent dans la nature, sous quelques-uns des états suivans.

1°. A l'état *natif*, c'est-dire purs ou alliés entre eux; 2°. à l'état d'*oxides simples* ou *multiples*; 3°. à l'état de *sulfures simples* ou *multiples*; 4°. à l'état de *séléniures simples* ou *multiples*; 5°. à l'état de *tellurures simples* ou *multiples*; 6°. à l'état d'*arséniures simples* ou *multiples*; 7°. à l'état de *chlorures*; 8°. à l'état d'*iodures*; 9°. à l'état de *fluorures*; 10°. à l'état d'*oxi-sulfures*; 11°. à l'état de *telluro-sulfures*; 12°. à l'état d'*arsénio-sulfures*; 13°. à l'état d'*antimonio-sulfures*; 14°. à l'état d'*oxi-chlorures*; 15°. à l'état de *sels simples* ou *multiples*; 16°. et enfin à l'état de *chloro-sels* ou de *fluo-sels*. Un même métal ne se présente jamais sous tous ces différens états.

1°. On ne trouve à l'*état natif* que les chrysides, l'argent, le cuivre, le mercure et le fer, encore ce dernier paraît-il être étranger au globe et provenir en totalité des pierres tombées du ciel.

2°. Les *oxides* que l'on trouve dans la nature sont : le protoxide de chrôme, le deutoxide de titane, le protoxide d'urane, les deutoxide et peroxide de manganèse, les deutoxide et peroxide de fer, l'oxide de cobalt, le protoxide et le deutoxide de cuivre, le deutoxide d'étain, l'acide antimonieux et l'acide antimonique, la *brucite*, combinaison d'oxide de zinc et d'oxide de manganèse, et la *francklinite*, combinaison d'oxides de fer, de zinc et de manganèse. Les oxides de fer et de manganèse sont très abondans. Le protoxide de cuivre et le deutoxide d'étain existent en

quantités assez grandes pour qu'on puisse les exploiter; les autres oxides sont rares.

3°. On trouve à l'état de *sulfures* le molybdène, le manganèse, le fer, le cobalt, le nickel, le cuivre, l'antimoine, l'étain, le zinc, le mercure, le plomb et l'argent. Un même métal constitue même souvent plusieurs sulfures, le fer par exemple. Ces divers sulfures combinés entre eux en proportions variées, forment un grand nombre d'espèces minérales; les plus importantes sont: le cuivre pyriteux, le cuivre panaché, divers cuivres gris, divers argens gris, l'argent rouge, la galène antimoniale, etc. Dans la plupart les sulfures d'antimoine et les sulfures d'arsenic font fonction d'élémens électro-négatifs combinés avec les autres sulfures. Cette classe de substances métalliques est la plus nombreuse, la plus abondante et la plus riche.

4°. Les *séléniures* ne sont qu'en petit nombre et ne se rencontrent qu'en très petite quantité. On connaît ceux de plomb, d'argent, de cuivre, de cobalt et de mercure.

5°. Les *tullurures* sont aussi rares que les séléniures: on connaît ceux d'or, d'argent, de plomb, de bismuth et de fer.

6°. Les *arséniures* ne sont pas communs, sans être rares: il y a des arséniures de manganèse, de fer, de cobalt, de nickel, d'antimoine et de bismuth. Il est remarquable que l'on n'ait jamais rencontré de phosphures dans la nature.

7°. Les *chlorures* ne sont qu'en petit nombre, ce qui ne doit pas étonner, puisque la plupart sont solubles: on trouve ceux de mercure, de plomb et d'argent.

8°. Jusqu'ici l on n'a observé que les *iodures* de mercure et d'argent, et seulement en très petite quantité.

9°. Le *cérium* est le seul métal que l'on ait trouvé à l'état de *fluorure*.

10°. On ne connaît pas d'autre *oxi-sulfure* que celui d'antimoine, qui porte le nom de *kermès natif*, et celui de zinc.

11°. Les *telluro-sulfures* ne se trouvent qu'en petite quantité avec les tellurures, et contiennent de l'or, du plomb, de l'argent et de l'antimoine.

12°. Les *arsénio-sulfures* sont au contraire très abondans et très variés, le mispickel, le cobalt gris, le nickel gris, plusieurs des espèces qui sont confondues sous les noms vulgaires de *cuivre gris* et d'*argent gris*, appartiennent à cette classe. On ne doit pas confondre les arsénio-sulfures avec les sulfures doubles arsenicaux, quoique ces minéraux se rapprochent toujours beaucoup par leurs caractères extérieurs et même par leurs propriétés chimiques : dans les premiers, l'arsenic joue le rôle d'élément électro-négatif combiné avec une partie des métaux ; dans les autres il est élément électro-positif combiné avec le soufre.

13°. L'*antimoine* fait le plus souvent fonction d'élément électro-positif combiné avec le soufre dans les minéraux métalliques : cependant l'analyse prouve que dans l'espèce appelée par les Allemands *nickel spiel-glanzerz*, il fait fonction d'élément électro-négatif combiné avec le nickel, et que cette espèce est par conséquent un véritable *antimonio-sulfure*. Peut-être quelques cuivres gris sont-ils du même genre.

14°. On ne connaît qu'un seul *oxi-chlorure*, c'est celui de cuivre.

15°. Les *sels métalliques*, en y comprenant les hydrates, sont très multipliés. Voici ceux que l'on a observés :

a. Les *hydrates* d'urane, de deutoxide et de peroxide de manganèse, de peroxide de fer : ce dernier est très abondant, et on l'exploite dans une multitude de lieux comme minerai ;

b. Les *carbonates* de cérium, de protoxide de manganèse, de protoxide de fer, de cuivre, de zinc et de plomb : ces sels sont abondans, et plusieurs se trouvent fréquemment combinés en diverses proportions entre eux et avec les carbonates de chaux et de magnésie ;

c. Les *carbonates hydreux* de zinc et de cuivre : le premier est rare, le second accompagne fréquemment les autres minerais de cuivre, et alimente à lui seul quelques exploitations ;

d. Les *sulfates* d'urane, de fer, de cobalt, de cuivre, de plomb, d'argent, et deux *sulfato-carbonates* de plomb :

la plupart de ces sels ne sont qu'accidentels, et proviennent de la décomposition spontanée des minerais sulfurés; cependant le sulfate de plomb ne paraît pas être dans ce cas;

e. Les *phosphates* d'urane et de chaux, d'urane et de cuivre, de fer, de fer et de manganèse, de deutoxide de cuivre et de plomb : le phosphate de plomb est toujours combiné avec le chlorure de plomb ou avec le chlorure de calcium; il se trouve en assez grande abondance pour qu'on puisse le traiter comme minerai; le phosphate de fer existe disséminé dans un grand nombre de minerais de fer dont il altère la qualité;

f. Les *arséniates* de fer, de cobalt, de nickel, de cuivre et de plomb : le dernier est le seul qui se rencontre en masses un peu considérables; il est toujours combiné avec le chlorure et souvent avec le phosphate de plomb; on trouve aussi les arséniates de cobalt et de nickel;

g. Les *silicates* de cérium, de protoxide et de deutoxide de manganèse, de protoxide et de deutoxide de fer, de deutoxide de cuivre, d'oxides de bismuth et de zinc : parmi ces silicates, les uns sont anhydres, les autres renferment de l'eau de cristallisation, d'autres enfin sont combinés avec des hydrates : pour un même oxide il y a souvent plusieurs silicates à différens degrés de saturation; enfin ces divers silicates, et particulièrement ceux de fer et de manganèse, se trouvent souvent combinés en proportions très variées avec des silicates terreux et alcalins, et ils constituent des minéraux pierreux qui sont quelquefois assez riches pour qu'on les exploite comme minerais métalliques; quelques grenats sont dans ce cas, etc.;

Il n'existe aucun *borate* métallique;

h. Les *aluminates* de zinc et de plomb : ces minéraux sont fort rares;

i. Les *chrômates* de plomb et de cuivre, et les *chrômites de fer*, ou fer chrômé;

k. Le *vanadate de plomb;*

l. Les *tungstates* de fer et de manganèse, le tungstate de plomb et le tungstate de chaux;

m. Le *molybdate* de plomb ;

n. Les *titanates* de fer et de manganèse, qui constituent plusieurs espèces différentes ; et les *silico-titanates de chaux*, ou sphène ;

o. Les *tantalites* de fer et de manganèse.

16° Les seuls *chloro-sels* métalliques que l'on connaisse sont : le chloro-phosphate, le chloro-arséniate de plomb, et le chloro-carbonate d'argent. Il y a quelques variétés de phosphate de plomb qui contiennent du fluorure de calcium en combinaison.

§ 2. — Gisemens.

Les substances métalliques ne forment qu'une très petite partie de la masse de la croûte du globe ; cependant la densité moyenne de la terre étant de 5,00 à 5,48, on est porté à croire que les métaux existent en grande masse dans la profondeur, et qu'il n'en apparaît que des traînées à la surface. Celle-ci se compose essentiellement de matières pierreuses, c'est-à-dire de silicates et de carbonates terreux et alcalins.

Manière d'être. — Les substances métalliques se trouvent enclavées dans les matières pierreuses de diverses manières, savoir : en *couches*, en *amas*, en *nids*, en *rognons*, en *noyaux*, en *parties disséminées*, en *filons* et en *veines*.

Les *couches* sont des masses plus ou moins épaisses dont les deux faces sont sensiblement parallèles entre elles et aux bancs de matières pierreuses qui les renferment, et qui s'étendent en tous sens sur une grande longueur.

Les *amas* sont des masses irrégulières, souvent ovoïdes ou lenticulaires, qui sont circonscrites en tous sens dans les roches qui les renferment. Ces amas se trouvent le plus souvent dans des roches non stratifiées, mais il y en a aussi au milieu même des couches.

Les *nids* sont de petits amas de matière friable de forme irrégulière.

Les *rognons* sont de petits amas solides dont la forme est plus ou moins arrondie, souvent étranglée en diffé-

rens points, et dont le volume est en général au moins celui du poing.

On nomme *noyaux* de très petits amas, le plus souvent solides, qui ont fréquemment la forme d'un amande, ne sont jamais étranglés, et semblent dans beaucoup de cas s'être moulés dans des cavités préexistantes.

On dit qu'une substance se trouve *disséminée*, lorsqu'elle est dispersée çà et là en cristaux, en paillettes, en globules, dans des masses minérales dont elle ne fait pas essentiellement partie.

Les *filons* sont des masses aplaties d'une étendue souvent considérable, qui ne s'étendent pas parallèlement aux couches des roches qui les renferment, et qui doivent leur origine à des fentes remplies. Ils traversent souvent des couches de nature différente; ils se coupent les uns les autres; ils éprouvent des dérangemens brusques dans leur allure, et sont sujets à des accidens très variés : la plupart ont dû être remplis par le bas par des matières en fusion ou en vapeurs.

On nomme *veines* de petites masses longues et étroites, simples ou ramifiées, tantôt planes, tantôt contournées, qui se trouvent dans l'épaisseur des roches. Ce sont le plus souvent de très petits filons; mais d'autres fois on doit les considérer comme des amas contemporains aux masses qui les renferment.

Terrains. — Les substances métalliques se trouvent à divers étages de la série des terrains, mais non pas dans tous : les terrains tertiaires et la craie ne renferment que du fer et du manganèse, et rarement en masses assez considérables pour qu'ils méritent d'être exploités. Le terrain jurassique est au contraire très riche en minerais de fer, mais ne contient que de très petites quantités d'autres métaux.

Roches. — En Europe les roches qui produisent le plus de métaux sont d'abord les dépôts de gneiss et de micaschiste, et ensuite les roches des terrains intermédiaires et de la partie inférieure des terrains secondaires. Dans l'Amérique équatoriale le gneiss est peu métallifère, et ce

sont les dépôts intermédiaires, les schistes, les porphyres syénitiques, les calcaires, ainsi que les premiers dépôts secondaires, qui renferment la plus grande partie des richesses immenses de cette contrée. Les basaltes et les volcans modernes abondent en fer et en titane, mais on n'y trouve d'autres métaux qu'accidentellement. Enfin l'or et le platine se rencontrent principalement dans des dépôts arénacés d'ancienne origine non agglomérés ou faiblement agglomérés par de l'hydrate de fer.

ARTICLE II. — *Des gangues.*

Minerais. — Les minéraux que l'on traite en grand pour en extraire des métaux, ou qui sont employés dans les arts d'une manière quelconque, portent le nom de *minerais*. Les minerais ne se rencontrent presque jamais isolément dans leurs *gîtes;* ils s'accompagnent les uns les autres, et ils sont en même temps associés à des minéraux pierreux non utiles : ces minéraux accessoires se nomment *gangues* ou *matrices*.

Gangues. — Les minerais deviennent gangues par rapport à d'autres minerais plus précieux. Les gangues métalliques les plus communes sont les pyrites de fer, le fer spathique, l'oxide de fer, l'hydrate de fer, et la blende. On peut consulter les chapitres relatifs au fer et au zinc, pour connaître les propriétés et les caractères de ces minéraux. Les gangues *ordinaires* pierreuses sont le quarz, le feld-spath, le carbonate de chaux pur ou combiné avec d'autres carbonates; l'arragonite, le carbonate de baryte, le sulfate de chaux, le sulfate de baryte et le spath fluor. Nous allons passer rapidement en revue ces dernières gangues, et nous donnerons en même temps la composition de leurs principales variétés.

Gangues métalliques.

Gangues pierreuses.

§ 1er. — Quarz ou cristal de roche.

Le quarz prend des aspects extrêmement variés; nous nous bornerons à décrire le *quarz hyalin*, le *quarz compact* et le *quarz concrétionné* ou *quarz-silex*.

Le *quarz hyalin* cristallise sous des formes qui dérivent

Forme.

d'un rhomboïde obtus dont les angles sont de 94° 15′ et 85°, 45′ : le plus souvent ils est en prismes hexaèdres
Caractères. réguliers, terminés par des pyramides à six faces. Il raie fortement le verre et il étincelle sous le choc du briquet. Sa cassure est conchoïde et a l'éclat vitreux; quelquefois il offre un clivage distinct. Sa pesanteur est de 2,6 à 2,7. Il est ordinairement diaphane, quelquefois coloré, par une très petite quantité de matières étrangères qui n'altèrent pas sa transparence, en rose, en violet-améthiste, en bleu, en jaune, en brun de fumée et même en brun presque noir; d'autres fois il est laiteux et même opaque, ou bien il admet en mélange mécanique des minéraux étrangers qui le colorent diversement : ces minéraux sont l'oxide de fer qui le colore en rouge (on l'appelle alors *sinople*), l'hydrate de fer qui le colore en jaune (on l'appelle alors *eisenkiesel*), la chlorite qui le colore en vert, le mica jaunâtre qui le rend argentin, etc. Les cristaux de quarz sont quelquefois remplis de bulles qui contiennent certaines matières liquides et gazeuses.

Chalumeau. Au chalumeau le quarz limpide, chauffé à la plus forte chaleur possible, n'éprouve aucune altération; avec la soude il fond avec effervescence et produit un verre transparent; avec le borax il fond très lentement et forme un verre limpide de difficile fusion; avec le sel de phosphore il ne se dissout qu'en très petite quantité, et reste disséminé dans le verre; avec la dissolution de nitrate de cobalt il se colore en bleu, en noir ou en gris sombre, selon la proportion du cobalt, et si l'on chauffe très fortement il se fond en verre bleu.

Le quarz limpide est de la silice absolument pure.

Caractères. Le *quarz compacte* se rapproche beaucoup, par ses caractères, du quarz hyalin : il est amorphe, en masses souvent considérables. Sa cassure est tantôt conchoïde, tantôt presque unie ou inégale, et tantôt grenue. Il est translucide, laiteux ou opaque. Il est quelquefois extrêmement mélangé de matières argileuses.

Le *quarz concrétionné* porte le nom de *calcédoine* quand il est blanc et très pur, d'*agate* quand il est

nuancé de belles couleurs, et de *silex* quand ces couleurs sont ternes ou quand son grain est grossier. Le *quarz concrétionné* est, comme le quarz hyalin, de la silice pure, incolore ou colorée par une très petite quantité d'oxide de fer, de bitume, ou de quelques autres substances. Ce qui le caractérise est sa structure ordinairement rubannée, et ses surfaces mamelonnées, qui prouvent qu'il a été formé par concrétions. Il n'est jamais transparent ; il est souvent opaque, mais le plus ordinairement translucide sur les bords. Sa cassure est unie, grenue, matte et comme cireuse. Quelques variétés ont un tissu tellement lâche qu'elles absorbent l'eau hygrométrique à la température de l'atmosphère; mais cette eau n'y est pas combinée et se perd à la chaleur de l'ébullition, et souvent même à la température ordinaire, dans l'air sec : ces variétés portent le nom d'*opale* et d'*hydrophane*. On trouve dans les conduits de quelques établissemens thermaux, des rognons, souvent assez gros, grisâtres, qui ressemblent à du silex, et qui n'en diffèrent effectivement que par la dureté, puisqu'ils se composent de silice presque pure. Cette silice, lentement déposée par les eaux, produit ces tubercules au bout d'un long temps.

Alcalis.

Le quarz hyalin et le quarz compacte sont toujours inattaquables par les alcalis en dissolution ; les agates et les silex sont le plus souvent inattaquables aussi, mais il y a des variétés de quarz concrétionné, et de la silice disséminée dans quelques pierres, qui se dissolvent dans les alcalis liquides comme la silice préparée par des moyens chimiques. Les tubercules des eaux minérales jouissent aussi de cette propriété.

Gisemens.

Le quarz est une des substances le plus abondamment répandues à la surface du globe, et il existe dans toutes les formations; il fait partie essentielle des granites, des gneiss, des micaschistes : on le trouve, à l'état compacte, en couches subordonnées au milieu de ces roches, dans les terrains primitifs et dans les terrains intermédiaires; il accompagne très fréquemment les minéraux métalliques, et alors il se présente souvent cristallisé sous

des formes régulières dans des géodes. Le quarz à l'état cristallin se rencontre d'ailleurs dans toutes les formations, même dans les plus modernes; il se trouve rarement en dépôts considérables dans les terrains secondaires, mais en parties disséminées; il abonde dans les roches arénacées dites *grès houillers*, *grès rouges*, etc.; à l'état de rognons ou de silex il existe dans tous les dépôts calcaires, jusques et surtout dans la craie, et aussi dans les porphyres : c'est dans ces dernières roches que l'on exploite les plus belles agates. Dans les terrains tertiaires le quarz se trouve : 1° en petits grains hyalins libres, formant des couches très étendues sableuses ou agglomérées soit par une pâte siliceuse, soit par une pâte calcaire; 2°. en masses carrées dites *meulières;* 3°. à l'état de silex roulé; 4°. en plaques de formation contemporaine avec les calcaires qui les renferment, mais jamais en rognons; 5°. enfin le quarz est la substance dominante de la plupart des alluvions.

§ 2. — Feld-spath.

Il y a cinq espèces minérales que l'on range dans le même genre, parce que leur système cristallin est le même, mais qui néanmoins diffèrent complètement les unes des autres par leur composition; ce sont le *feld-spath*, l'*albite*, le *labrador*, l'*anorthite* et la *ryakolite*. Les trois dernières espèces sont rares : les deux premières abondent au contraire dans certaines roches et se trouvent quelquefois dans les filons.

Le système cristallin de ces espèces se rapporte à un prisme rhomboïdal oblique dans lequel la base repose sur l'arête aiguë du prisme : les angles homologues sont un peu différens dans ces différentes espèces : les cristaux sont souvent hémitropes.

Le *feld-spath* est l'espèce que l'on rencontre le plus fréquemment; ses hémitropies ne présentent jamais d'angles rentrans. Il a une cassure lamelleuse; il raie le verre. Sa p. s. varie de 2,39 à 2,38. Au chalumeau il se fond en émail blanc. il est inattaquable par les acides. Sa

composition est représentée par la formule KS^3+3AS^3 (1). Il fait partie essentielle des granites et des porphyres, et il se trouve aussi dans un grand nombre de roches volcaniques. On le rencontre rarement dans les filons métalliques; cependant on l'a observé dans une mine d'étain de Saint-Austle en Cornouailles.

L'*albite* a un certain éclat qui n'appartient pas au feld-spath. Ses cristaux sont le plus souvent hémitropes, et présentent toujours alors un angle rentrant. Sa cassure est souvent compacte et terne : il y en a en Suède une variété qui est rayonnée. Au chalumeau l'albite se fond en émail blanc. Elle est inattaquable par les acides. Sa composition est représentée par la formule NS^3+3AS^3 (2). Elle a les mêmes gisemens que le feld-spath; elle se trouve fréquemment dans les granites talqueux.

Outre le feld-spath et l'albite, il y a des minéraux qui renferment à la fois les deux espèces, et dans lesquels la magnésie remplace une certaine quantité de potasse et de soude. On trouve ces minéraux dans les roches volcaniques. (*Voy.* le tableau ci-dessous (3) et (4).)

Le *labrador* ou *feld-spath opalin* se trouve rarement cristallisé. Il est translucide et chatoyant, offrant des reflets bruns, rouges, verts et très éclatans. Il raie le verre. Sa p. s. est de 2,70. Au chalumeau il se fond en verre bulleux. Il fait gelée avec l'acide muriatique. Sa composition est représentée par la formule NS^3+3CS^3+12AS (5). On le trouve dans les terrains anciens en Amérique et dans l'Ingermanie; mais il paraît qu'il est surtout abondant dans les laves modernes.

L'*anorthite* a un éclat nacré et une cassure vitreuse. Ses cristaux sont toujours très petits. Elle raie le verre. Sa p. s. est de 2,763. Au chalumeau elle fond en émail blanc et bulleux. Elle fait gelée avec les acides. Sa composition est représentée par la formule $MS+2CS+3AS$ (6). On ne l'a encore trouvée que dans les blocs de dolomie de la Somma, accompagnée de pyroxène et de mica.

Le *riakolite* a été observé par M. G. Rose, dans les laves du Vésuve et du lac Laah. Il se trouve en très

petits cristaux dont on n'a pas pu mesurer les angles.

Nous donnons dans le tableau suivant le résultat des analyses qui ont été faites des quatre premières espèces.

	Feld-spath. (1)	Albite. (2)	Feld-spath. Mont-Dore. (3)	Feld-spath. Drakenfeld. (4)	Labrador. (5)	Anorthite. (6)
Silice	0,659	0,698	0,661	0,666	0,558	0,445
Alumine	0,178	0,188	0,198	0,185	0,265	0,345
Potasse	0,163	.....	0,069	0,080	.....	.....
Soude	.....	0,114	0,037	0,040	0,040	.....
Magnésie	.....	.....	0,020	0,010	.....	0,052
Chaux	.....	.....	.....	.....	0,110	0,157
Oxide de fer	.....	.....	.....	0,006	0,013	0,007
	1,000	1,000	0,985	0,987	0,986	1,006

(1) *Feld-spath* pur transparent ou *adulaire*.

(2) *Albite* pure du département de l'Isère.

(3) *Feld-spath vitreux* du Mont-Dore ; en gros cristaux translucides empâtés dans des trachytes.

(4) *Feld-spath vitreux* du Drakenfeld, l'une des sept montagnes volcaniques qui se trouvent sur la rive droite du Rhin, vis-à-vis de Bonn.

(5) *Labrador* d'Amérique (Klaproth).

(6) *Anorthite* de la Somma. (M. G. Rose.)

§ 3. — Carbonate de chaux, pierres calcaires.

Les minéraux qui renferment du carbonate de chaux, et que l'on désigne sous le nom générique de *pierres calcaires*, sont de nature très variée : ils se composent en général de carbonate de chaux, de magnésie, de fer et de manganèse, combinés entre eux en proportions diverses, et en outre ils admettent en mélange mécanique de l'argile, bitumineuse ou non, du quarz arénacé et quelques autres substances. On doit distinguer, 1°. le carbonate de chaux à peu près pur ou mêlé mécaniquement seulement de quelques substances ; 2°. le calcaire magnésien

ou dolomie, et 3°. les carbonates à trois et à quatre bases. Nous allons examiner successivement ces trois classes de minéraux.

A. *Calcaire pur.* — Le carbonate de chaux pur, ou *spath calcaire*, cristallise sous une multitude de formes qui dérivent d'un rhomboïde obtus dont les angles sont de 105° 5′ et 74° 55′; il se clive très nettement parallèlement aux trois faces de ce rhomboïde, et il présente encore d'autres clivages moins nets. Il est limpide; sa réfraction est double. Le verre le raie aisément, mais il n'est pas rayé par l'ongle. Sa p. s. est de 2,721. Il se dissout facilement et avec une vive effervescence dans tous les acides, même dans l'acide acétique. Au chalumeau il devient caustique, sans se fondre, et il brille d'un éclat particulier aussitôt que le dégagement de l'acide carbonique est terminé. Il ne se fond pas dans la soude. Il se fond avec effervescence dans le borax, et produit un verre transparent cristallisable. Il se fond également dans le sel de phosphore, et donne un verre transparent qui devient blanc de lait par le refroidissement lorsqu'il est saturé de chaux, et qui, dans le cas contraire, abandonne des aiguilles cristallines; avec la solution de cobalt il donne une masse noire ou d'un gris sombre, infusible. Caractères.

Le carbonate de chaux forme, avec le carbonate de soude, avec le sulfate de soude et avec le sel marin, des composés très fusibles à la chaleur rouge, mais qui perdent leur liquidité à la chaleur blanche. (*Voy.* RÉACTIFS.) États divers.

Le carbonate de chaux se présente sous toutes sortes d'aspects; cristallin, concrétionné (albâtre), en masses saccharoïdes (marbre statuaire), en masses compactes; à cassure unie, matte, ou à cassure grenue, c'est son état le plus ordinaire; et enfin en masses terreuses tachant les doigts (craie). Il appartient à toutes les formations, mais il est peu abondant dans les terrains primitifs, tandis qu'il existe en grande quantité dans les terrains intermédiaires, et qu'il constitue la plus grande partie des terrains secondaires et tertiaires. Formations.

On exploite les pierres calcaires comme pierres à bâtir, ou Chaux.

pour en faire de la chaux, ou pour les employer comme fondans. La nature de la chaux qu'elles produisent varie beaucoup selon leur composition. On distingue les chaux en *chaux grasses*, *chaux maigres non hydrauliques*, et *chaux hydrauliques*.

Grasses. Les *chaux grasses* sont celles qui *foisonnent* beaucoup, c'est-à-dire qui augmentent beaucoup de volume lorsqu'on les réduit en pâte avec de l'eau; elles ne sont jamais hydrauliques, c'est-à-dire qu'elles ne se durcissent pas sous l'eau; elles ne peuvent former de mortiers hydrauliques que par l'addition d'une proportion convenable de pouzzolane. Elles s'obtiennent avec les pierres calcaires pures ou mêlées de quelques centièmes seulement d'argile ou de carbonate de magnésie.

Maigres. Les *chaux maigres non hydrauliques* ne foisonnent pas et ne prennent pas sous l'eau; elles ne peuvent être d'aucun usage; elles sont produites par les pierres calcaires très magnésiennes.

Hydrauliques. Les *chaux hydrauliques* se solidifient sous l'eau au bout de quelques jours, ou au bout d'un temps plus ou moins long; elles foisonnent d'autant moins qu'elles sont plus hydrauliques, c'est-à-dire qu'elles se durcissent plus promptement. L'expérience a prouvé que les chaux de cette classe doivent leurs propriétés hydrauliques à la présence d'une certaine quantité d'argile, et quelquefois, mais rarement, à la présence d'une certaine quantité de silice pure. Par la cuisson il se forme des silicates de chaux et d'alumine basiques, qui, lorsqu'on les éteint, absorbent une certaine quantité d'eau de combinaison et se solidifient; et ces silicates étant insolubles, se conservent sans altération dans l'eau, ou du moins ne cèdent à ce liquide qu'une très petite quantité de chaux. L'expérience a encore montré que les chaux sont moyennement hydrauliques et de très bonne qualité quand les pierres dont elles proviennent contiennent environ 0,15 d'argile, et que les pierres qui renferment 0,25 à 0,30 de cette substance donnent des chaux qui possèdent la propriété hydraulique au plus

Ciment. haut degré; on appelle ces dernières chaux *ciment na-*

turel, ciment romain ou *ciment Parker.* Une plus forte proportion d'argile ferait perdre à la chaux la faculté d'absorber l'eau, et par conséquent de se solidifier. Enfin on sait encore que pour qu'une chaux hydraulique puisse s'éteindre, il faut qu'elle ait été cuite à un certain degré de température bien ménagé, parce que si la chaleur était trop forte, il se formerait entre la silice, l'alumine et la chaux, une combinaison trop intime, et sur laquelle l'eau n'aurait pas d'action.

Action fondante.

Les pierres calcaires agissent diversement comme fondans, selon leur composition et selon la nature des substances dont elles doivent déterminer la fusion; mais comme le plus souvent ces substances renferment de la silice avec diverses bases, sous ce rapport les calcaires les plus purs sont les meilleurs. Il y a des cas où les dolomies sont préférables à ces derniers; mais presque toujours l'argile est plus nuisible qu'utile. (*Voy.* RÉACTIFS.)

Moyen d'analyse.

Voici comment on peut déterminer très approximativement la composition d'une pierre calcaire par un procédé simple et expéditif : on broie la pierre et l'on tamise; on prend 10 grammes de la poussière, que l'on délaie dans un peu d'eau, et l'on verse dessus peu à peu, et en agitant continuellement, soit de l'acide muriatique ou de l'acide nitrique étendu, soit de l'acide acétique, jusqu'à ce qu'il ne se fasse plus d'effervescence; on évapore la dissolution à une douce chaleur jusqu'à consistance pâteuse; on délaie la matière dans environ un demi-litre d'eau; on filtre, et l'on recueille ainsi l'argile, que l'on pèse quand elle est sèche. Si, après l'avoir calcinée, on la pèse de nouveau, on a par différence le poids de l'eau qu'elle contenait en combinaison. On verse de l'eau de chaux dans le liquide filtré tant qu'il s'y forme un précipité; on recueille le plus promptement possible celui-ci sur un filtre, on le lave avec de l'eau pure, on le calcine et on le pèse. Ce précipité est la magnésie, mêlée de fer et de manganèse, si le calcaire en contient. Après avoir fait ces opérations, on calcine à une forte chaleur blanche 5^{g} de la pierre, et l'on prend

le poids du résidu. Il est évident qu'en retranchant du double de ce poids le poids de l'argile calcinée et de la magnésie, on aura le poids de la chaux. Le résidu de la calcination des pierres calcaires argileuses fait gelée avec les acides concentrés, et se dissout presqu'en totalité dans les acides étendus; ce qui prouve ce que nous avons avancé, qu'il se forme par la cuisson un silicate de chaux et d'alumine.

Composition. Nous allons donner comme exemples la composition de quelques pierres calcaires qui produisent de la chaux grasse, de la chaux hydraulique et du ciment naturel.

Pierres calcaires à chaux grasse.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Chaux.....	0,564	0,554	0,546	0,541	0,556	0,548	0,504
Magnésie.	.....	0,004	0,009	0,006	.....	0,009	0,018
Oxide de fer...	.....	.....	.....	0,005	.....	.....	.....
Argile et quarz.	.....	0,010	0,015	0,022	0,015	0,010	0,069
Acide carbon.	0,436	0,432	0,430	0,426	0,429	0,433	0,409
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Carbon. de ch.	1,000	0,981	0,965	0,950	0,985	0,970	0.893
——— de magnésie.	.....	0,009	0,020	0,013	.....	0,020	0,038
Carbon. de fer.	.....	.....	.....	0,015	.....	.....	.....
Argile et quarz.	.....	0,010	0,015	0,022	0,015	0,010	0,069
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Spath d'Islande;* en cristaux rhomboïdaux limpides: c'est le carbonate de chaux pur.

(2) *Marbre blanc statuaire de Carrare;* d'un beau blanc, un peu translucide, à cassure saccharoïde : il est de formation primitive. La matière insoluble dans les acides est du quarz pur.

(3) *Calcaire de Saint-Jacques,* dans le Jura; compacte, jaunâtre, un peu saccharoïde : il fait la base des montagnes du Jura.

(4) *Calcaire* de formation jurassique, qui forme le toit de la mine de fer de la Voulte (département de l'Ardèche); compacte, blanc jaunâtre, coquillier. Sa p. s. est de 2,67.

(5) *Calcaire grossier* de la formation tertiaire des environs de Paris; très coquillier.

(6) *Calcaire d'eau douce des environs de Nemours* (Seine-et-Marne); compacte, jaunâtre, un peu cellulaire, très sonore.

(7) *Calcaire d'eau douce d'OEningen*, près de Constance (M. Gmelin). Sa p. s. est de 2,734. Il renferme des débris d'oiseaux, de sauriens et de poissons. L'argile qu'il contient est mêlée d'une grande proportion de matières organiques.

Pierres à chaux hydraulique.

	Moyennement hydraulique.			Très hydraulique.			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Chaux.....	0,505	0,524	0,503	0,467	0,432	0,451	0,410
Magnésie.	0,014	0,002	0,009	0,019	0,016	0,007	0,023
Oxide de fer...	.....	.....	.....	.....	0,018	.....	.....
Oxide de manganèse.....	.....	.....	.....	.....	0,009	.. ..	.....
Argile ou silice.	0,078	0,076	0,090	0,134	0,159	0,185	0,230
Acide carboniq.	0,403	0,398	0,398	0,380	0,368	0,357	0,347
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000
Carbon. de ch.	0,892	0,858	0,830	0,825	0,765	0,800	0,725
——— de magnésie.....	0,030	0,004	0,020	0,041	0,030	0,015	0,045
Carbon. de fer.	.....	0,062	.....	.....	0,030	.....	.....
Carb. de manganèse.....	.....	.....	.....	.....	0,015	.....	.....
Argile ou silice.	0,078	0,076	0,150	0,134	0,152	0,185	0,230
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992	1,000	1,000

(1) *Calcaire jurassique de Chaulnay*, près de Mâcon; compacte, blanc jaunâtre, à grains fins.

(2) *Calcaire jurassique de Saint-Germain* (département de l'Ain); compacte, d'un gris foncé, pénétré de

coquilles, et veiné de calcaire blanc lamellaire. Il est coloré par une matière charbonneuse qui y entre dans la proportion d'environ 0,02, et que l'on a comprise dans l'argile.

(3) *Calcaire jurassique de Bigna;* compacte, à grains presque terreux, d'un gris clair.

(4) *Calcaire jurassique des environs de Nîmes;* compacte, gris jaunâtre; donne une chaux hydraulique qui passe dans le pays pour être d'excellente qualité.

(5) *Calcaire jurassique de Metz;* compacte, à grains presque terreux, d'un gris bleuâtre plus ou moins foncé. La chaux qu'il produit est connue pour être très hydraulique. L'argile qu'il contient renferme 0,036 d'alumine pour 0,116 de silice. La chaux préparée en grand avec ce calcaire laisse dans les acides un résidu du poids de 0,05 au plus, et qui n'est que de la silice gélatineuse.

(6) *Calcaire de la formation crayeuse de Senonches,* près de Dreux; compacte, très tendre, s'écrasant entre les doigts. Il absorbe l'eau très rapidement, et il se délaie dans ce liquide presque comme une argile, mais il ne tombe pas en poussière lorsqu'on le calcine. Il laisse dans les acides un résidu farineux, doux au toucher, qui ne contient qu'une trace d'alumine, qui se dissout dans la potasse liquide, même à froid, et qui se comporte en tout comme de la silice que l'on aurait séparée d'une combinaison; cependant il est certain que cette substance n'est dans la pierre de Senonches qu'à l'état de simple mélange; car, en opérant avec le plus grand soin, on trouve, par l'analyse, que la proportion de l'acide carbonique est justement celle qui convient à la saturation de la chaux. La chaux de Senonches est très renommée; on l'emploie beaucoup à Paris; elle prend plus promptement, et elle acquiert plus de dureté que la chaux de Metz. Elle se dissout dans les acides sans laisser le moindre résidu.

(7) *Calcaire d'eau douce* de la formation tertiaire de Lezoux (Puy-de-Dôme). Il donne de très bonne chaux hydraulique.

Pierres calcaires à ciment naturel.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Chaux	0,348	0,371	0,322	0,398	0,356
Magnésie	.. ..	0,002	0,017	.....	0,019
Oxide de fer	0,037	0,037	.....	0,022	.....
Oxide de manganèse	.....	0,012	.....	.....	.....
Acide carbonique	0,291	0,319	0,268	0,263	0,295
Argile — Silice	0,150	0,180	0,232	0,295	0,140
Argile — Alumine	0,048	0,066	0.020		0,060
Argile — Magnésie	.....	.....	.....		0,070
Argile — Oxide de fer	0,030	.....	0,067		.....
Eau	0,066	0,013	0,074	.....	0,060
	0,970	1,000	1,000	0,998	1,000
Carbonate de chaux	0,616	0,657	0,572	0,668	0,630
—— de magnésie	.....	0,005	0,036	.....	0,040
—— de fer	0,060	0,060	0,066	0,035	.....
—— de manganèse	.....	0,019	.....	.....	.....
Argile	0,228	0,246	0,252	0,295	0,270
Eau	0,066	0,013	0,074	.....	0,060
	0,970	1,000	1,000	0,998	1,000
Chaux	0,540	0,554	0,485	0,556	0,547
Magnésie	.....	0,003	0,025	0,030	0,137
Argile	0,310	0,357	0,385	0,414	0,316
Oxide de fer	0,150	0,086	0,105	.....	.....
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1) *Pierre à ciment de Boulogne-sur-Mer;* compacte, à grains fins, dure, tenace, et susceptible de prendre le poli; d'un gris jaunâtre. On la trouve en cailloux roulés sur le bord de la mer; elle provient de rognons qui ont leur gisement dans des bancs de marne qui font partie d'une formation de calcaire secondaire.

(2) *Pierre à ciment d'Angleterre.* Elle a absolument les mêmes caractères que la pierre de Boulogne; mais elle est d'un gris-brun. Sa p. s. est de 2,59. On la trouve en masses tuberculeuses dans des marnes calcaires secondaires. Elle présente souvent des cloisons minces et

contournées d'une substance cristalline jaunâtre, translucide, que quelques fabricans ont prise pour du sulfate de chaux; mais ce n'est réellement que du carbonate de chaux. On prépare à Londres, avec cette pierre, une grande quantité de ciment naturel qui porte le nom de *ciment Parker*, et qui est d'excellente qualité.

(3) *Pierre à ciment de Pouilly* (Côte-d'Or), exploitée par M. l'ingénieur des Ponts-et-Chaussées Lacordère; compacte, à grains terreux, tachant les doigts, d'un gris jaunâtre. Elle se trouve en couches dans la formation jurassique.

(4) *Pierre à ciment de Matala*, en Suède (M. Pasch). Elle donne une chaux qui se solidifie en quelques minutes, et acquiert une grande dureté.

(5) *Calcaire marneux d'Argenteuil*, près de Paris; compacte, tendre, très léger, d'un blanc jaunâtre; sa texture est très lâche, ce qui lui donne la faculté d'absorber beaucoup d'eau; il fait gelée avec les acides, et produit du ciment naturel par la calcination : c'est du carbonate de chaux mélangé de 0,06 d'argile, et de plus du quart de son poids de silicate de magnésie hydreux, qui joue le même rôle que l'argile.

B. *Calcaire magnésien.* — On trouve dans la nature les carbonates de chaux et de magnésie combinés ensemble en un très grand nombre de proportions; ces combinaisons ont à peu près les mêmes caractères que le calcaire pur : elles diffèrent de celui-ci en ce qu'elles ont un éclat très sensiblement nacré; en ce que leur densité est un peu plus forte, elle varie de 2,80 à 2,90; en ce qu'à l'état compacte elles présentent presque toujours une multitude de très petites cavités qui sont tapissées de cristaux microscopiques; enfin, en ce qu'elles ne font que lentement effervescence avec les acides à froid. La combinaison la plus commune renferme 1 atome de chacun des deux carbonates; c'est à elle qu'appartient plus particulièrement le nom de *dolomie*, quoique l'on applique très souvent ce nom à tous les calcaires magnésiens. La dolomie cristallise en rhomboïde, comme le spath d'Islande; mais l'angle obtus de ce rhomboïde est de 106° 15′.

Caractères.

Les calcaires magnésiens se comportent, par *voie sèche*, comme le carbonate de chaux avec le carbonate de soude, le sulfate de soude et le sel marin; mais les composés fusibles que l'on obtient perdent beaucoup plus promptement leur liquidité en se décomposant, lorsqu'on élève un peu la température au-dessus du rouge.

Formations. On trouve des calcaires magnésiens dans tous les terrains, mais surtout dans la formation du muschelkalk; ils sont au contraire rares dans la craie et dans les formations d'eau douce. On a remarqué que les calcaires qui sont en contact immédiat avec les porphyres sont presque toujours dolomitiques.

Chaux. Les calcaires magnésiens donnent, par la cuisson, des chaux maigres non hydrauliques, et qui ne peuvent être d'aucun usage dans les constructions, lorsque la magnésie s'y trouve en proportion un peu forte; mais les dolomies sont souvent très précieuses comme fondans, pour les matières dans lesquelles la silice se trouve en grand excès.

Action fondante.

Composition. Voici quelques exemples de composition de calcaires magnésiens :

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Chaux.....	0,500	0,483	0,468	0,433	0,440	0,376	0,342
Magnésie.....	0,039	0,050	0,062	0,077	0,084	0,136	0,162
Oxide de fer...	.....	0,004	.....	0,011	.....	0,018	.....
Acide carbon.	0,411	0,429	0,442	0,422	0,406	0,456	0,440
Matières pierreuses.....	0,050	0,034	0,028	0,054	0,070	0,004	0,052
	1,000	1,000	1,000	0,987	1,000	0,990	0,996
Carbon. de ch	0,880	0,860	0,835	0,772	0,762	0,690	0,605
——— de magnésie.....	0,080	0,102	0,137	0,161 0,022	0,177	0,276	0,347
Carbon. de fer.	.....	0,006	.....	.....	.....	0,030	.....
Matières pierreuses.....	0,050	0,032	0,028	0,054	0,070	0,004	0,052
	0,010	1,000	1,000	0,987	1,009	1,000	1,002

	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
Chaux.....	0,327	0,300	0,292	0,292	0,186	0,1 40	
Magnésie.....	0,180	0,210	0,200	0,212	0,143	0,230	
Oxide de fer...	0,010	.....	0,013	.....	0,012	.....	
Acide carbon.	0,449	0,466	0,464	0,446	0,339	0,360	
Matières pierreuses.....	0,030	0,024	0,022	0,050	0,306	0,251	
	0,996	1,003	0,991	1,000	0,986	0,981	
Carbon. de ch.	0,580	0,535	0,524	0,518	0,366	0,250	
——— de magnésie.....	0,370	0,434	0,417	0,637	0,295	0,480	
Carbon. de fer.	0,016	.....	0,022	.....	0,019	.....	
Matières pierreuses.....	0,030	0,024	0,022	0,050	0,306	0,251	
	0,996	0,993	0,985	1,005	0,986	0,981	

(1) *Calcaire* de la formation du liais du département des Ardennes; compacte, d'un gris foncé. M. Gendarme l'emploie comme *castine* dans ses hauts-fourneaux. Ce calcaire contient 8 atomes de carbonate de chaux pour 1 atome de carbonate de magnésie.

(2) *Calcaire* de la formation du muschelkalk, des environs de Tubingen (M. Gmelin); très schisteux, d'un gris bleuâtre. Sa p. s. est de 2,734. Il contient 7 atomes de carbonate de chaux pour 1 atome de carbonate de magnésie.

(3) *Calcaire d'eau douce de Quincy*, près de Méhun (département du Cher). Il renferme des silex qui passent à la pierre meulière; il est blanc, grenu et presque terreux comme de la craie; mais il est pénétré d'une substance d'un beau rose de carmin, qui doit sa couleur à une matière combustible : on a confondu cette substance avec l'argile. Ce calcaire contient 7 atomes de carbonate de chaux et 1 atome de carbonate de magnésie.

(4) *Spath calcaire du Kaiserthul*, près de Colmar; concrétionné, à cassure cristalline, blanc, translucide. Il est

déposé en couches minces sur une roche volcanique d'un gris foncé, et qui renferme beaucoup de pyroxène. Sa formule est $4CaC^2 + (Mg, f)C^2$.

(5) *Calcaire secondaire des environs de Saint-Brieux* (Côtes-du-Nord); compacte, d'un gris bleuâtre. Il contient un peu moins de 4 atomes de carbonate de chaux, pour 1 atome de carbonate de magnésie.

(6) *Calcaire de transition de Gelbresée*, au N.-E. de Namur, formant les parois d'un filon de minerai de fer; écailleux, à très petits grains, de couleur blonde, et veiné de chaux carbonatée lamellaire grisâtre. L'analyse a été faite sur la partie écailleuse pure. Cette pierre renferme 2 atomes de carbonate de chaux pour 1 atome de carbonate de magnésie et de fer.

(7) *Calcaire à griphytes des environs de Braniquel* (département de Tarn-et-Garonne); compacte, à cassure grenue, tachant légèrement les doigts, d'un blanc un peu bleuâtre. Il contient 3 atomes de carbonate de chaux pour 2 atomes de carbonate de magnésie.

(8) *Calcaire* de la formation du muschelkalk, des environs de Tubingen (M. Gmelin). Il se trouve dans la partie moyenne de la formation. On le désigne sous le nom de *raurhwake*. Il est séléniteux, grisâtre. Sa p. s. est de 2,80. Il contient 4 atomes de carbonate de chaux et 3 atomes de carbonate de magnésie. Selon M. Gmelin, cette combinaison se présente très fréquemment dans les terrains calcaires.

(9) *Dolomie des Alpes*, de formation primitive; saccharoïde, friable, très blanche, mêlée de paillettes de mica et de quelques grains de pyrites. Elle renferme exactement 1 atome de chacun des deux carbonates terreux.

(10) *Calcaire dolomitique de Schirmeck* (Vosges). Il se trouve dans la partie d'une carrière de calcaire de transition exploité pour faire de la chaux, qui se trouve immédiatement en contact avec un filon de porphyre gris feld-spathique et non quarzeux. Il est d'un gris clair un peu jaunâtre, à cassure grenue et écailleuse, un peu cellulaire, translucide sur les bords. Il renferme des la-

melles cristallines qui lui donnent l'aspect d'un porphyre ; c'est une dolomie qui contient une petite quantité de carbonate de fer ; le calcaire qui l'accompagne est du carbonate de chaux pur. M. l'ingénieur des mines Voltz a observé des dolomies semblables à celle de Schirmeck dans plusieurs parties des Vosges ; elles renferment quelquefois des fragmens de toutes grosseurs de diverses roches primitives.

(11) *Calcaire dolomitique* de la formation de muschelkalk, des environs de Bourbonne-les-Bains ; compacte, gris, un peu cellulaire, à cassure matte. Il contient 1 atome de carbonate de chaux et 1 atome de carbonate de magnésie.

(12) *Calcaire dolomitique argileux* de la formation de muschelkalk, de Tubingen (M. Gmelin) ; ondulé, d'un vert grisâtre clair. Sa p. s. est de 2,811. C'est une dolomie intimement mêlée d'argile.

(13) *Carbonate de magnésie de l'île d'Elbe* ; compacte, à cassure terreuse, gris jaunâtre. La matière pierreuse dont elle est mélangée est de la silice pure, soluble dans les alcalis.

C. *Carbonates à plusieurs bases.* — Les quatre carbonates de chaux, de magnésie, de fer et de manganèse, se trouvent combinés entre eux dans une multitude de proportions ; ils sont tous les quatre isomorphes, et les composés qu'ils produisent le sont également ; mais les angles des rhomboïdes qu'ils ont pour forme primitive, varient un peu selon la composition. Ils peuvent, comme le carbonate de chaux, se fondre avec le carbonate de soude, le sulfate de soude et le sel marin ; mais les composés fondus se solidifient, et se décomposent promptement par une certaine élévation de température, et d'autant plus facilement qu'ils renferment plus de carbonate de fer ou de carbonate de manganèse.

Nous allons présenter ici, comme exemples, la composition des principales variétés de carbonates multiples dans lesquels la chaux domine.

Calcaires à trois bases.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Chaux.....	0,538	0,266	0,374	0,285	0,287	0,150	0,290
Magnésie....	.....	.....	0,010	0,157	0,140	0,080	0,110
Protoxide de fer.....	0,020	0,090	0,050	0,076	0,123	0,134	0,110
Protoxide de manganèse.	0,007	0,076	0,050	.....	0,003	0,005	.....
Acide carbonique et eau.	0,429	0,346	0,374	0,435	0,433	0,286	0,421
Matières pierreuses.....	.....	0,226	0,146	0,043	0,017	0,342	0,069
	0,994	1,004	1,004	0,996	1,003	0,997	1,000
Carbonate de chaux.....	0,960	0,472	0,668	0,505	0,509	0,267	0,521
Carbonate de magnésie..	.....	.....	0,020	0,324	0,290	0,167	0,230
Carbonate de fer.....	0,030	0,130	0,081	0,123	0,187	0,216	0,180
Carbonate de manganèse.	0,010	0,100	0,081	.....	0,005	0,008	....
Matières pierreuses et eau.	.....	0,280	0,146	0,043	0,017	0,342	0,069
	1,000	0,982	0,996	0,995	1,008	1,000	1,000

(1) *Calcaire rose* provenant d'un filon qui traverse un terrain de transition près de Moutiers en Savoie. Il est d'un rose de chair, opaque ou faiblement translucide, divisible très nettement en rhomboïdes. Sa p. s. est de 2,71. Il se trouve confusément groupé avec du quarz, du fer oligiste, de l'oxide de titane acidulaire jaune d'or, et avec le calcaire brun n° 1 du tableau suivant.

(2) *Calcaire secondaire* qui forme le mur de la couche d'oxide de fer de la Voulte (département de l'Ardèche); compacte, gris, à cassure terne. Sa p. s. est de 2,68. Sa formule est $2CaC^2 + (fe + Mn)C^2$.

(3) *Calcaire de l'île de Tanor*, rapporté par le capitaine Baudin; compacte, à cassure matte et presque

terreuse, gris. Sa p. s. est de 2,60. Sa formule est $4CaC^2 + (fe, Mn, Mg)C^2$.

(4) *Calcaire* dit *spath-eisenstein, de Mühlen*, pays des Grisons. Se trouve en filons dans un terrain primitif; compacte, saccharoïde, d'un blanc un peu nacré. Sa formule est $CaC^2 + (fe, Mg)C^2$. On trouve la même combinaison en masses lamelleuses, à Schams, et dans d'autres parties du pays des Grisons.

(5) *Calcaire de Seraing*, près de Liége. On le trouve en rognons dans les roches qui accompagnent les couches de houille de Seraing. Il est compacte, d'un gris très foncé, à cassure inégale presque unie et matte. Il doit sa couleur à un mélange de 0,02 à 0,03 de bitume. Sa formule est $4CaC^2 + 3feC^2 + 3MgC^2$.

(6) *Calcaire secondaire*, dans lequel gît la mine de fer de Ramcié, vallée de Vicdessos (département de l'Ariége); compacte et gris. Il contient environ 4 atomes de carbonate de chaux pour 3 atomes de carbonates de magnésie et de fer.

Calcaires à quatre bases.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Chaux.....	0,352	0,345	0,314	0,297	0,284	0,342
Magnésie.....	0,056	0,068	0,072	0,120	0,123	0,147
Protoxide de fer.....	0,106	0,056	0,183	0,085	0,123	0,038
——— de mangan.	0,040	0,092	0,016	0,035	0,019	0,019
Acide carbonique et eau.....	0,432	0,435	0,377	0,443	0,444	0,440
Matières pierreuses..	0,014	.....	0,023	0,004	.....	.....
	1,000	0.996	0,985	0,984	0,993	0,986
Carbonate de chaux.	0,632	0,615	0,560	0,532	0,511	0,609
——— de magn..	0,114	0,141	0,149	0,250	0,257	0,303
——— de fer....	0,175	0,093	0,230	0,140	0,200	0,060
——— de mang..	0,065	0,147	0,023	0,058	0,030	0,030
Matières pierreuses et eau.....	0,014	.....	0,023	0,004	.....	.....
	1,000	0,996	0,985	0,984	0,998	1,002

(1) *Spath calcaire* qui accompagne l'oxide de titane de Moutiers (Savoie); d'un brun jaunâtre, opaque, divisible en lames rhomboïdales. Sa p. s. est de 2,64. Sa coloration résulte d'un commencement de décomposition des carbonates de fer et de manganèse. Sa formule est $10CaC^2 + 2feC^2 + 2MgC^2 + MnC^2$, ou $2CaC^2 + (fe, Mg, Mn)C^2$.

(2) *Calcaire du Devonshire;* texture oolitique concrétionnée; cassure grenue, matte et terreuse; couleur café au lait. Sa formule est $5CaC^2 + 3(fe, Mg, Mn)C^2$.

(3) *Spath calcaire de Notre-Dame-du-Pré,* près de Moutiers (Savoie); en masses laminaires rhomboïdales, de couleur violacée. Sa p. s. est de 2,90. Il est mélangé de pyrites, de quarz et d'oxide de fer provenant de la décomposition d'une partie du carbonate.

(4) *Spath calcaire cristallisé de la mine de plomb de Pezey* (Savoie); cristallisé en rhomboïdes primitifs, ayant presque toujours des facettes additionnelles sur les arêtes; incolore, transparent et d'un éclat sensiblement nacré. Sa p. s. est de 2,94. Il devient brun par suite d'un commencement de décomposition, lorsqu'il reste pendant un certain temps exposé dans des lieux humides. Il contient un peu moins de 1 atome de carbonate de chaux pour 1 atome de carbonates de magnésie, de fer et de manganèse.

(5) *Spath calcaire de Golraht,* en Styrie; les Allemands le désignent sous le nom d'*ankérite;* lamelleux dans trois sens, à grandes lames rhomboïdales, d'un blanc nacré, fortement translucide. Il est accompagné d'une substance grise verdâtre analogue aux chlorites. Sa formule est $5CaC^2 + 3MgC^2 + 2(fe, Mn)C^2 = CaC^2 + (Mg, fe, Mn)C^2$.

(6) *Spath calcaire des environs de Villefranche* (département de l'Aveyron); lamellaire, à lames rhomboïdales, d'un blond violacé, un peu translucide. On le trouve dans un filon. Sa formule est $3CaC^2 + 2(Mg, fe, Mn)C^2$.

Il résulte des analyses que nous venons de citer, que les combinaisons $CaC^2 + (Mg, fe, Mn)C^2$, sont très com-

munes dans la nature, mais que dans ces combinaisons, les proportions relatives de carbonates de magnésie, de fer et de manganèse, varient beaucoup.

§ 4. — Arragonite.

Composition. L'*arragonite* est du carbonate de chaux qui contient une petite quantité de carbonate de strontiane. M. Stromeyer a trouvé, dans deux variétés de cette substance :

Carbonate de chaux.....	0,953	—	0,993
Carbonate de strontiane.....	0,041	—	0,005
Eau.....	0,005	—	0,001
	0,999		0,999

Caractères. Elle est plus dure que le spath calcaire; sa cassure est vitreuse. Sa p. s. est de 2,931. Elle cristallise en prismes rhomboïdaux de 116°,5′ et 63°,55′, dont la hauteur et la moitié de la diagonale sont à peu près comme les nombres 57 et 79; ces prismes, en se groupant entre eux, forment des prismes hexaèdres présentant un angle rentrant. On la trouve aussi en masses bacillaires, fibreuses, etc.

Chalumeau. Au chalumeau, dans le matras, à une certaine température un peu inférieure au rouge, elle décrépite tout-à-coup et se réduit en une poudre blanche grossière : ce caractère est propre à la distinguer du spath calcaire. L'arragonite est isomorphe avec le carbonate de strontiane, et il y a lieu de penser que lorsqu'on la chauffe assez pour qu'elle décrépite, elle se transforme tout-à-coup en spath calcaire, par un nouvel arrangement que prennent ses molécules.

Gisement. L'arragonite se trouve très fréquemment dans les mines de fer; on la rencontre aussi dans des filons d'argent, de cuivre et de plomb; elle existe dans les fissures de roches serpentineuses, dans les porphyres, dans les basaltes et dans les laves; elle se trouve surtout disséminée en cristaux prismatiques dans les argiles et les gypses des dépôts salifères; enfin elle se dépose journellement en concrétions, à la manière des tufs.

§ 5. — Carbonate de baryte, withérite.

Le *carbonate de baryte* est incolore ou légèrement jaunâtre, transparent ou translucide; il a l'éclat vitreux et gras. Il cristallise sous des formes qui paraissent dériver d'un rhomboïde de 88° et 92°. Sa p. s. est de 4,310. Au chalumeau il fond très aisément en un verre limpide qui devient blanc d'émail par le refroidissement; sur le charbon il fait une vive effervescence et est en partie absorbé; il se fond aisément avec vive effervescence dans le borax, le sel de phosphore et la soude; avec le nitrate de cobalt il donne un verre d'un rouge-brun ou jaune-rouille qui perd sa couleur en se refroidissant. Gisement. Caractères.

Le carbonate de baryte forme des combinaisons très fusibles avec les carbonates et les sulfates de potasse et de soude, le sel marin et les sulfures de potassium et de sodium. Ces combinaisons supportent la chaleur blanche sans se décomposer et sans perdre leur liquidité. Flux.

Le carbonate de baryte est composé de Composition.

Baryte.....	0,7766	—	1 at
Acide carbonique..... ..	0,2334	—	1

On ne le trouve que dans des filons; il est assez abondant dans plusieurs mines d'Angleterre; il en existe aussi en Saxe, en Styrie et en Silésie. Gisement.

Il y a dans les mines d'Alstonmoore, en Angleterre, un minéral qui est fort rare, et qui se compose, selon M. Broke, de

Carbonate de baryte	0,659
Carbonate de chaux.....	0,336

on lui a donné le nom de *baryto-calcite*.

§ 6. — Sulfate de chaux.

Le *sulfate de chaux* constitue deux espèces différentes: l'une avec eau de cristallisation, que l'on nomme *gypse* ou *plâtre*; l'autre anhydre, qui porte le nom d'*anhydrite* ou de *karsténite*.

1°. Le *gypse* pur est incolore, transparent, doué d'un éclat un peu nacré, tendre, rayé par l'ongle, lamelleux. La Caractères.

forme d'où dérivent ses cristaux est un prisme droit à base de parallélogramme obliquangle, d'environ 113° et 67°, et dont la hauteur et les côtés sont à peu près comme les nombres 32, 12 et 13. Sa p. s. est de 2,31. Il se présente souvent en masses fibreuses, saccharoïdes, grenues et même compactes. Il est fréquemment mêlé de marnes et d'argiles qui le colorent en gris, en vert et en rouge. Au chalumeau, dans le matras, il abandonne de l'eau, devient promptement tout-à-fait anhydre, et tourne au blanc laiteux. Il se dissout dans les acides forts, et il est décomposé par les carbonates alcalins à l'aide de l'ébullition.

Chalumeau.

Composition. Le gypse pur est composé de

Chaux.....	0,3291	—	1[at]
Acide sulfurique.....	0,4631	—	1
Eau.....	0,2078	—	2

Le gypse en masse contient quelquefois du sulfate de magnésie, du sulfate de soude et même du sulfate de potasse; mais il paraît que ces sels ne sont pas uniformément répandus dans toute la masse, et qu'ils proviennent de minéraux nommés *polyalithes*, composés des quatre sulfates de chaux, de magnésie, de soude et de potasse, qui s'y trouvent çà et là en amas; on y rencontre aussi, en petite quantité, un autre minéral nommé *glaubérite*, qui ne se compose que de sulfates de chaux ou de soude.

Caractères. 2°. L'*anhydrite* est incolore, rosacée ou violacée; son éclat est vitreux et un peu nacré; elle est translucide, rarement transparente, beaucoup plus dure que le gypse; ses cristaux sont rares, et dérivent d'un prisme droit rectangulaire dont la hauteur et les côtés sont à peu près dans le rapport des nombres 9, 10 et 12. Sa p. s. est de 2,899. Au chalumeau, dans le matras, elle ne donne pas d'eau; à une très forte chaleur elle se résout en émail blanc, mais difficilement; sur le charbon, elle se change en sulfure de calcium, dont la saveur est alcaline et sulfureuse; si l'on y ajoute du verre de soude, elle prend la couleur de l'hépar. Elle donne avec le borax un verre transparent qui par le refroidissement devient jaune ou brun.

Chalumeau.

Flux. Le sulfate de chaux forme des combinaisons bien fusibles

avec le carbonate de soude, le sulfate de soude, le sel marin et le spath fluor; avec le carbonate de soude, la combinaison se liquéfie à la chaleur rouge; mais si l'on chauffe jusqu'à la chaleur blanche, l'acide carbonique se dégage, la matière devient de moins en moins fusible, et elle finit par se transformer en un simple mélange de chaux caustique et de sulfate de soude. Les combinaisons de sulfates de chaux et de soude n'éprouvent aucune altération par la chaleur la plus élevée; il en est de même de celles que forme le sulfate de chaux avec le sel marin ou le spath fluor. Le composé de sulfate de chaux et de spath fluor le plus fusible est celui qui contient 1 atome de chacune de ces substances, ou

Sulfate de chaux.....	1714
Spath fluor.....	987

Lorsque la proportion de spath fluor est moins de 1 atome =247 pour 4 atomes de sulfate de chaux = 1961, la combinaison se ramollit sans se fondre complètement à la chaleur blanche.

L'anhydrite est composée de

Composition.

Chaux.....	0,4153
Acide sulfurique..	0,5847

Gisement.

Le sulfate de chaux ne commence à paraître que dans les terrains intermédiaires; mais il se retrouve à plusieurs étages dans la série des terrains secondaires, et enfin, à la partie supérieure des terrains tertiaires : il forme dans les uns et dans les autres terrains des couches plus ou moins puissantes, et il se rencontre quelquefois dans les filons. Dans les terrains anciens il est presque toujours à l'état anhydre associé à des schistes micacés ou argileux. Dans les terrains secondaires il se présente toujours au milieu des calcaires. On le rencontre d'abord dans le zechstein, où il est en partie anhydre, en partie hydreux; puis dans le grès bigarré et le muschelkalk, où il est toujours hydreux : dans ces deux derniers terrains il est très souvent accompagné d'argiles salifères qui donnent naissance à des sources salées. Dans les terrains tertiaires il n'existe que du sulfate

hydreux ou gypse; il y forme des bancs puissans mêlés de carbonate de chaux et de marnes; il est de formation d'eau douce, et renferme des débris de mammifères, d'oiseaux et de reptiles.

§ 7. — Sulfate de baryte, spath pesant.

Caractères. Le *sulfate de baryte* pur est incolore et transparent; il a l'éclat vitreux passant à l'éclat résineux. Il cristallise sous des formes très variées qui dérivent d'un prisme droit rhomboïdal de 101° 42′ et 78°,18′, et dont la hauteur et les côtés sont à peu près comme les nombres 42 et 41. Sa p. s. est de 4,446. Il se présente en masses lamellaires, fibreuses, mamelonnées, grenues, compactes et même terreuses, translucides ou opaques; ses couleurs accidentelles sont le gris, le jaunâtre et le rougeâtre. Au Chalumeau. chalumeau il décrépite avec violence, et à la plus forte chaleur de la flamme extérieure, il s'arrondit sur les bords, mais avec une difficulté extrême : à la flamme intérieure il se change en un sulfure nfusible dont la saveur est hépatique et cuisante. Avec la soude il se gonfle, se décompose, et pénètre dans le charbon. Il se dissout avec effervescence dans le borax, et donne un verre transparent qui devient jaune-brun en refroidissant.

Flux. Le sulfate de baryte forme avec les carbonates de soude et de potasse, les sulfates de soude et de potasse, les chlorures de sodium, de barium et de calcium, le sulfure de barium et le spath fluor, des combinaisons très fusibles lorsque les élémens s'y trouvent dans des proportions convenables; ces combinaisons conservent toute leur liquidité à la chaleur blanche, et celles qui contiennent du carbonate de baryte ne se décomposent pas comme celles qui renferment du carbonate de chaux. Pour que le composé de spath fluor et de sulfate de baryte soit bien fusible, il faut qu'il s'y trouve plus de 1 partie de la première substance pour 3 parties de la seconde.

Le sulfate de baryte est insoluble dans les acides les

plus forts; il est décomposé par les carbonates alcalins, mais difficilement. Ce sel est composé de : Composition.

Baryte.....	0,6563	— 1
Acide sulfurique.....	0,3437	— 1

Il contient souvent du sulfate de strontiane, mais rarement en forte proportion : les cristaux que l'on trouve en Auvergne en renferment environ 0,03.

Le sulfate de baryte est une substance de filon, et se trouve surtout très abondamment dans les mines de plomb, d'argent et de cuivre; il constitue aussi à lui seul des filons et des veines dans les terrains anciens et dans diverses parties des terrains secondaires, surtout dans le grès rouge; il n'existe ni dans la craie ni dans les terrains tertiaires, si ce n'est combiné en petite quantité avec le sulfate de strontiane que l'on rencontre dans ces derniers terrains. Gisement.

§ 8. — Spath fluor.

Le *spath fluor* dans son état de pureté est absolument incolore, mais on le trouve le plus souvent coloré de diverses nuances souvent très belles, de violet améthiste, de rose, de vert, de jaune et de bleu. Ces colorations sont dues la plupart au manganèse et au fer, mais on ne sait pas encore dans quel état de combinaison ces métaux s'y trouvent. Ce minéral a l'éclat vitreux, il est assez dur pour rayer le spath calcaire. Il cristallise sous des formes variées qui dérivent du cube; il se présente souvent en cubo-octaèdres. Sa p. s. est de 3,140. Il est lamellaire, transparent, translucide ou opaque, granuleux, compacte, et quelquefois mais rarement terreux. Au chalumeau, il devient presque toujours phosphorescent, et répand une lumière verdâtre à une température bien inférieure au rouge, et il décrépite. Chauffé très fortement il se fond en une perle opaque. Il se dissout facilement dans le borax, le sel de phosphore et la soude. Caractères. Chalumeau.

Le spath fluor forme des combinaisons très fusibles avec les carbonates de soude et de potasse, les sulfa- Flux.

tes de soude, de potasse, de baryte, de strontiane, de chaux et de plomb; les chlorures de sodium, de barium et de calcium; les sulfures de sodium, de potassium et de barium. Ceux de ces composés qui contiennent des carbonates alcalins se décomposent en bouillonnant à la chaleur blanche, et deviennent de moins en moins fusibles à mesure que l'acide carbonique se dégage. Le spath fluor peut se fondre aussi avec la silice et les silicates. (*Voyez* à ce sujet le chapitre des RÉACTIFS, page 480).

Acides. Les acides forts et employés en grande quantité dissolvent à froid le spath fluor sans le décomposer; mais l'acide sulfurique concentré le décompose à l'aide d'une chaleur peu élevée, et en dégage de l'acide hydrofluorique reconnaissable par l'action corrosive qu'il exerce sur le verre et sur tous les silicates.

Composition. Le spath fluor est composé de :

Calcium.....	0,523	—	1
Fluor.....	0,477	—	2

Il équivaut à 0,727 de chaux. Il renferme presque toujours des traces notables de phosphate de chaux.

Gisemens. Il est très abondant dans les mines de plomb, surtout en Angleterre; on en trouve aussi dans les mines d'étain et de manganèse; il est rare dans les mines d'argent. Il forme quelquefois des filons ou des veines dans plusieurs roches cristallines des terrains primitifs, intermédiaires et secondaires; enfin il se trouve disséminé dans des granites, des micaschistes, des calcaires intermédiaires; et il en existe même, à la vérité en très petite quantité, dans le calcaire grossier des environs de Paris.

Usage. On l'emploie quelquefois en métallurgie pour faire fondre des gangues qui contiennent du sulfate de chaux ou de sulfate de baryte, ou pour augmenter la fusibilité des silicates terreux.

FIN DU PREMIER VOLUME.

EXPLICATION
DES PLANCHES.

PLANCHE Ire.

Opérations mécaniques.

Fig. 1re (p. 9). Marteau à tête carrée et à ciseau horizontal.

Fig. 2 (p. 9). Marteau à tête carrée et à ciseau vertical.

Fig. 3 (p. 9). Marteau à deux têtes carrées.

Fig. 4 (p. 9). Tas d'acier. A, pied en bois cerclé. B, tas d'acier. C, anneau de fer qu'on place sur le tas pour empêcher de tomber les débris de la matière qu'on brise.

Fig. 5 et 6 (p. 10). Mortiers en fonte avec leur pilon.

Fig. 7 (p. 10). Mortier en porcelaine, à bec, avec son pilon.

Fig. 8 (p. 10). Mortier en agate avec pilon. A, mortier. B, pilon en agate. C, pilon à bout d'agate emmanché dans du bois.

Fig. 9 (p. 10). Mortier en acier pour les substances précieuses. A, mortier dont le fond est en acier. B, anneau en fer qu'on place dans le mortier. C, pilon en acier qu'on introduit dans l'anneau, et sur lequel on frappe pour briser la substance.

Fig. 10 (p. 12). Spatule en fer.

Fig. 11 (p. 12). Spatule en bois.

Fig. 12 (p. 12). Couteau en bois ou en ivoire, à deux bouts.

Fig. 13 (p. 12). Couteau en bois ou en ivoire, à manche.

Fig. 14 (p. 13). Tamis découvert, en crin ou en soie.

Fig. 15 (p. 14). Tamis emboîté. A, fond du tamis dans lequel la poussière fine est reçue. B, tamis dans lequel on place la matière pulvérisée et qui s'emboîte sur le fond A. C, couvercle qui s'adapte hermétiquement sur le tamis B, et qui empêche les poussières de se répandre dans l'air.

Fig. 16 (p. 15). Bruxelles en laiton, à pince et à cuillère.

Fig. 17 (p. 15). Bruxelles à pince, en laiton ou en fer.

Fig. 18 (p. 15). Bruxelles à pince et à coulisse. C, bouton qui glisse dans la rainure D, et au moyen duquel on peut à volonté tenir la pince ouverte ou fermée.

Fig. 19 (p. 15). Pince en acier, à deux becs et à boutons. La pince est naturellement fermée; mais en pressant en même temps les deux boutons CC, on tient le bout A ouvert.

Fig. 20 (p. 16). Baquet en bois cerclé de fer et à trois bondes, destiné à opérer des lévigations sur de grandes masses. A, bonde supérieure par laquelle on fait écouler les substances les plus ténues. B, seconde bonde par laquelle on fait écouler les poussières de grosseur moyenne. C, bonde inférieure qu'on ouvre pour faire sortir les substances qui tombent au fond du baquet.

Fig. 21 (p. 19). Augette à main. Elle doit être faite en bois compacte et dur, en noyer, par exemple, et bien poli.

Fig. 22 (p. 20). Appareil pour laver à l'augette. A, augette qu'on tient à la main. B, tonneau en bois cerclé de fer, qui doit être plein d'eau, et qui est muni d'un robinet R au moyen duquel on peut faire tomber sur l'augette un filet d'eau plus ou moins fort. Lorsqu'on désire que ce filet soit très mince on adapte au robinet un tube de verre effilé, au moyen d'un bouchon de liége. C, terrine qui reçoit l'eau tombant de l'augette, et dans laquelle se déposent les poussières qui ne sont pas trop ténues. E, évier sur lequel tombent toutes les eaux superflues, et d'où elles s'écoulent au dehors par l'orifice O.

Fig. 23 (p. 20). Appareil à siphon au moyen duquel on se procure un courant d'eau continu pour opérer les lavages à l'augette. A, augette. S, siphon en verre qu'on tient dans une position convenable au moyen d'une attache B. C, terrine ou vase large et peu profond dans lequel on entretient de l'eau pour alimenter le siphon. L'on met celui-ci en jeu en aspirant avec la bouche par l'extrémité inférieure.

Fig. 24 (p. 23). Grande plaque en porphyre, polie, destinée à broyer les poudres très ténues. AAA, plaque de porphyre. B, pièce de bois dans laquelle la plaque est encastrée à frottement. CC, cadre qui s'adapte à la plaque et qui empêche la déperdition des matières : on l'enlève quand la porphyrisation est achevée. D, couvercle en bois.

Fig. 25 (p. 23). Pilon à tête plate, ou molette, pour l'usage du porphyre *fig.* 24.

PLANCHE II.

Opérations chimiques.

Fig. 1re (p. 26). Creuset profond en platine ou en argent, muni d'un couvercle à pointes.

Fig. 2 (p. 26). Creuset évasé en platine ou en argent, muni d'un couvercle à rebord.

Fig. 3 (p. 26). Spatule en platine ou en argent, pour remuer la matière contenue dans les creusets.

Fig. 4, 5, 6 (p. 28). Têts à rôtir placés sur leur fourneau. — *Fig.* 4. Têt posé sur un fromage en argile cuite. — *Fig.* 5. Têt posé sur deux barreaux de fer. — *Fig.* 6. Têt posé sur une chevrette renversée.

Fig. 7 (p. 33). Petite capsule de porcelaine hémisphérique, pouvant servir de têt à rôtir.

Fig. 7bis. Petite capsule en porcelaine à fond plat, munie d'un couvercle à rebord. Ces capsules sont fort commodes et servent pour une multitude d'opérations.

Fig. 8 (p. 33). Petite capsule hémisphérique très mince, en platine.

Fig. 9 (p. 37). Appareil propre à être employé pour réduire les oxides par le gaz hydrogène. A, tube de verre à boule qui contient la substance à réduire. B, lampe à alcool à l'aide de laquelle on chauffe la substance : cette lampe peut être fixée à volonté à la hauteur qu'on désire, au moyen de la vis de pression V. C, matras duquel le gaz se dégage. D, tube de verre muni de deux boules dans lesquelles la plus grande partie de l'eau entraînée par le gaz hydrogène se dépose. E, tube de verre rempli de chlorure de calcium en fragmens, destiné à achever l'opération du gaz hydrogène.

Fig. 10 (p. 64). Creuset d'argile de forme pyramidale et triangulaire.

Fig. 11 (p. 64). Creuset d'argile conique et à bec.

Fig. 12 (p. 65). Creuset d'argile en forme de coquetier, appelé *tatte.*

Fig. 13 (p. 78). Creuset fait avec deux morceaux de charbon creusés intérieurement et juxta-posés l'un à l'autre.

Fig. 14 (p. 79). Creuset en forme d'étui, préparé au moyen d'un moule en verre enduit de coton collé, etc.

Fig. 15, 16, 17 (p. 79). Creusets brasqués de charbon, de formes diverses.

Fig. 18 (p. 80). Pilon en bois, bien arrondi et poli, au moyen duquel on tasse la brasque dans le creuset.

Fig. 19 (p 81). Couteau à lame mince et pointue, qui sert à creuser la brasque.

Fig. 20 (p. 81). Tube de verre arrondi qu'on emploie pour polir l'intérieur des creusets brasqués.

Fig. 21 (p. 84). Couvercle en argile pour les creusets. Il est pourvu d'un trou à son centre, pour donner issue aux vapeurs.

Fig. 22 (p. 86). Fromage rond, en argile, sur lequel on place les creusets.

Fig. 23 (p. 87). Fromage carré, en argile, qu'on pose immédiatement sur la grille du fourneau. C'est ordinairement un fragment de brique.

Fig. 24 (p. 87). Creuset fixé sur des fromages, muni de son couvercle et prêt à être placé dans le fourneau.

Fig. 25 (p. 88). Grande pince à moustaches rondes et à tige courbe, pour saisir les creusets et les retirer du fourneau.

Fig. 26 (p. 88). *Id.* à tiges droites.

PLANCHE III.

Distillation.

Fig. 1re (p. 91). Cornue à panse sphérique.

Fig. 2 (p. 91). Cornue à panse ovoïde.

Fig. 3 (p. 91). Cornue en porcelaine, faite de plusieurs pièces soudées les unes aux autres avant qu'elles aient été cuites.

Fig. 4 (p. 95). Entonnoir à longue tige dont on se sert pour introduire un liquide ou une poussière au fond d'une cornue sans salir le col.

Fig. 5 (p. 96). Cornue munie d'une tubulure *t*, au moyen de laquelle on peut emplir la panse sans salir le col ni le dôme. On ferme cette tubulure à volonté soit avec un bouchon de liége, soit avec un bouchon de verre usé à l'émeril.

Fig. 6 (p. 96). Cornue en métal, faite de deux pièces qui s'emboîtent l'une dans l'autre à frottement. *a*, panse. *b*, dôme. *c*, col.

Fig. 7 (p. 96 et 121). Cornue placée, dans un four à réverbère, sur un fromage.

Fig. 8 (p. 97 et 121). Cornue placée, dans un four à réverbère, sur une grille, et chauffée à la partie supérieure par un feu de charbon soutenu par une autre grille.

Entre ces deux figures on en voit deux autres qui représentent, la première, une cornue placée dans un four à réverbère et dont la panse est posée dans un creuset d'argile contenant du sable; la seconde, une cornue placée dans un four à réverbère sur deux barreaux de fer.

Fig. 9 (p. 98). Cornue de verre dont le col est recourbé à son extrémité. La courbure peut servir de récipient pour le liquide distillé.

Fig. 10 (p. 98). Cornue au col de laquelle est adaptée, au moyen d'un bouchon, une allonge A recourbée, pour distiller les substances qui se condensent difficilement.

Fig. 11 (p. 98). Appareil de distillation composé d'une cornue A, d'une allonge B, d'un ballon tubulé C, muni d'un long tube de verre D, et placé dans une terrine E contenant de l'eau qu'on renouvelle pour l'entretenir froide.

Fig. 12 (p. 99). Autre appareil de distillation composé d'une cornue A, d'un ballon tubulé C à col inférieur, et d'un flacon D entretenu froid et dans lequel entre le col du ballon.

PLANCHE IV.

Moyens de recueillir les gaz et les vapeurs.

Fig. 1re (p. 99). Cuve pneumatique à eau ou à mercure, pour recueillir les gaz.

Fig. 2 (p. 99). Cuve pneumatique à mercure, en marbre, coupe verticale.

Fig. 3 (p. 99). Cuve pneumatique de petites dimensions, en marbre, en porcelaine ou en bois.

Fig. 4 (p. 99). Cloche à gaz imaginée par M. Gay-Lussac, et qui remplace avec avantage les cuves pneumatiques. (*Voy.* p. 99.) AB, éprouvette dans laquelle sont mastiqués deux anneaux ouverts OO. C, cloche graduée dans laquelle se rendent les gaz qui arrivent par le tube doublement recourbé D. L, support à mâchoire, qui maintient le tube à gaz. H, main de bois au moyen de laquelle on maintient le

tube gradué à telle hauteur qu'on le désire. H, tige le long de laquelle glisse la main de bois. K, vis de pression pour assujettir la main de bois sur sa tige.

Fig. 5 (p. 106). Cornue dont le bec plonge dans une capsule contenant de l'eau.

Fig 6 (p. 106). Appareil à courant continu et uniforme. A, flacon à deux tubulures. *b*, ouverture par laquelle on introduit le liquide dans le flacon, et qu'on peut ouvrir et fermer à volonté au moyen d'un petit bouchon de verre. C, tube de verre creux entrant à frottement, et qu'on enfonce plus ou moins dans le liquide. *d*, siphon en verre adapté au flacon et dont l'extrémité la plus courte atteint presque le fond. *g*, espace rempli d'air.

Fig. 7 (p. 107). Appareil analogue au précédent, à tubulure inférieure. A, flacon. *b*, bouchon. C, tube plongeant dans le liquide. *d*, tubulure inférieure.

Fig. 8 (p. 108). Appareil distillatoire chauffé à la lampe. A, cornue soutenue sur un anneau métallique glissant le long de la tige I. B, lampe astrale glissant aussi le long de la tige I. C, ballon de verre servant de récipient et soutenu sur un anneau métallique glissant le long de la tige FF. *c*, morceau de papier ou de linge placé sur le col de la cornue, et qu'on imbibe d'eau froide. *d*, nouet de filasse qui empêche l'eau de couler dans le ballon et qui la conduit dans une terrine H. *g*, morceau de papier plié en forme de gouttière, qui détermine l'eau de condensation à se répandre uniformément sur le col de la cornue. M, entonnoir de verre contenant un filtre en papier, et dans lequel on entretient de l'eau pour obtenir un filet de condensation continu.

Fig. 9 (p. 108). Matras à sublimer, à fond un peu aplati et en verre vert. Il faut en avoir de différentes dimensions.

Fig. 9bis (p. 112). Tube de verre à boule pour traiter les substances solides par les gaz.

Fig. 10 (p. 112). *Id.* à deux boules. A, boule dans laquelle on place la substance à traiter. B, boule dans laquelle une partie des matières volatiles se condensent.

Fig. 11 (p. 112). Tube de porcelaine droit.

Fig. 12 (p. 113). *Id.* bifurqué. Ces tubes doivent être vernissés intérieurement.

Fig. 13 (p. 113). *Id.* courbé en forme d'U.

Fig. 14 (p. 115). Appareil propre à préparer les chlorures et à faire diverses opérations dans lesquelles il se dégage des gaz qui se condensent facilement à l'état solide. A, cornue tubulée placée dans un four à réverbère, et dans laquelle on introduit la substance à traiter. B, conduit qui amène un gaz quelconque dans la cornue au contact de la substance qu'elle contient. C, ballon à quatre tubulures, dans lequel les substances gazeuses se condensent. D, flacon dans lequel s'écoulent les substances qui sont condensées à l'état liquide. E, tube qui conduit les gaz non condensables dans une éprouvette T, contenant de l'eau, où ils se lavent avant de se répandre dans l'atmosphère. P, Q, tubulures par lesquelles on peut introduire une baguette rigide pour dégorger le col de la cornue lorsqu'il s'obstrue.

PLANCHE V.

Fourneaux de calcination et d'évaporation.

Fig. 1, 2 et 3 (p. 117). Fourneaux de calcination. C, cuve dans laquelle on met le combustible : elle est construite en brique et consolidée sur le bord par un cercle en fer F. D, cendrier. G′, grille dans sa position naturelle lorsqu'on veut que la grille soit peu profonde. G″, grille à pied, placée dans une position renversée, lorsqu'on veut que la cuve soit très profonde. G‴, grille sans pieds, qu'on peut placer à volonté dans le fourneau, à la hauteur I ou à la hauteur I′ (*fig.* 3), au moyen d'un rebord réservé sur deux faces opposées de la cuve, comme on le voit représenté en M. H, cheminée en tôle forte, à manche et à porte, qu'on place sur le fourneau lorsqu'on veut activer la combustion.

Fig. 4 (p. 119, 120 et 121). Fourneau d'évaporation. C, cuvette hémisphérique en fonte et à clairevoie, qui sert de cuve. D, cendrier. H, tuyau en tôle destiné à porter les vapeurs dans la cheminée lorsqu'elles peuvent être nuisibles ou incommodes. L, chevrette sur laquelle on pose le tuyau H. O, capsule posée sur une autre chevrette plus petite et plus basse.

Fig. 5 (p. 119, 120 et 122). Paillasse sur laquelle on trouve réunis un grand nombre de fourneaux différens. A, A, A, fourneaux pratiqués dans l'épaisseur du mur de la cheminée. B, bain de sable muni de son foyer. CC, grande cheminée.

D,D,D,D,D,D, cendriers des différens fourneaux et du bain de sable : ils sont munis de leur porte en tôle. M,M,M, espaces réservés sous la paillasse, et qui servent de magasins pour le charbon, les fromages, les couvercles, etc. : on les ferme avec une planche à coulisse PPP, à la partie inférieure, pour empêcher le charbon de se répandre dans le laboratoire. H, grande hotte qui conduit toutes les vapeurs dans la cheminée : celle-ci est munie d'une soupape qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté au moyen de la tige TT qu'on assujettit sur la crémaillère S. On place sur le rebord de la hotte, et sur des planches qu'on peut y fixer, les creusets, les têts à rôtir, les cornues et les vases de toute sorte dont on a besoin dans un laboratoire comme on le voit dans la figure. *h*,*h*,*h*,*h*, petites cheminées réservées dans la maçonnerie, pour les fourneaux A,A,A et pour le bain de sable B : elles communiquent avec la grande cheminée, dans laquelle elles tendent à produire un fort courant : en ouvrant çà et là quelques ouvertures sur le mur CC, les vapeurs s'y introduisent et sont entraînées en dehors. R, tringle de fer sur laquelle on peut suspendre les chevrettes, les grilles, les pinces, etc.

PLANCHE VI.

Fourneaux à vent.

Fig. 1 et 2 (p. 122). Fourneau à vent de Macquer. *Fig.* 1re, Élévation. *Fig.* 2, coupe verticale perpendiculaire à la face de devant. A, cuve. BB, dôme. CC, cheminée. DD, grille. EE, cendrier. PP, ouverture par laquelle on introduit les creusets, et qu'on ferme avec un bouchon d'argile cuite. OO, ouverture par laquelle on introduit le combustible, et qu'on ferme également avec un bouchon d'argile.

Fig. 3 (p. 123). Fourneau à vent à cheminée latérale. A, cuve. B, rampant. C, cheminée qui communique en D avec une cheminée ordinaire. E, cendrier. G, grille qui se compose de barreaux mobiles qu'on pose sur deux barreaux fixes. P, bouchon à manche, qu'on enlève à volonté pour introduire dans la cuve les creusets et le combustible. Q, hotte. T, trappe en fer, mobile, à charnière, à laquelle on fixe un manche M, au moyen duquel on l'ouvre et on la

ferme à volonté. On la ferme lorsqu'on met le fourneau au feu, et on la laisse habituellement ouverte pour aérer le laboratoire.

Fig. 4 (p. 123). Fourneau à vent dont on se sert dans les fabriques d'acier fondu. A, cuve dans laquelle on voit un creuset. I, cendrier commun à plusieurs fourneaux, et dans lequel on pénètre par une voûte latérale H. D, bouchon destiné à fermer l'orifice du fourneau, qui se trouve au niveau du sol. CC, conduit qui reçoit les vapeurs du fourneau et qui les conduit dans une grande cheminée commune à tous. E,E'; ouvertures pratiquées, la première au haut de la cuve, et la seconde presqu'au fond. Ces ouvertures communiquent avec le conduit CC, et l'on peut les fermer avec des bouchons d'argile cuite.

Fig. 5 (p. 124). Fourneau à vent de Chenevix. A, cuve. B, rampant qui conduit les vapeurs dans une cheminée. C, cendrier. D, bouchon à main. GG, grille; on la place à volonté à différens niveaux, selon qu'on veut donner au fourneau plus ou moins de profondeur, au moyen de briques mobiles *b*,*b*,*b*,*b*,*b*,*b*.

PLANCHE VII.

Fourneaux à vent.

Fig. 1, 2 et 3 (p. 121, 126 et 127). Fourneau à vent de l'École des Mines. *Fig.* 1re, plan. *Fig.* 2, élévation. *Fig.* 3, coupe verticale perpendiculaire à la face de devant. AA, cuve. B, rampant qui conduit les vapeurs dans la cheminée. CCC, cheminée munie de son registre RR : c'est une plaque de fer qu'on peut faire glisser horizontalement dans une rainure. D, couvercle du fourneau; c'est un cadre de fer dans lequel on mastique des briques, et qui est muni d'une queue au moyen de laquelle on le saisit pour le faire glisser sur la paillasse. GGG, grille à barreaux mobiles. P,P,P, portes du cendrier en tôle forte et à manche. HH, hotte en tôle forte soutenue par trois bandes de fer *h*,*h*,*h*. Ces cheminées sont légères, faciles à établir, et n'exigent que peu de réparations lorsqu'elles ont été peintes à l'huile avec soin. T, trappe mobile munie de son manche M, et qu'on ferme lorsqu'on met le fourneau au feu. SS, bain de sable dans lequel on pose les creusets qu'on retire du feu.

Fig. 4 et 5 (p. 127). Fourneau à vent à grilles latérales. *Fig.* 4, plan. *Fig.* 5, coupe verticale. Les quatre faces verticales de la grille A,A,A,A,A,A,A, sont indépendantes les unes des autres, et reposent sur les talons B,B. La grille horizontale G est faite avec des barreaux mobiles qu'on peut enlever à volonté.

Fig. 6 et 7 (p. 127). Fourneau à vent à grilles latérales. *Fig.* 6, plan. *Fig.* 7, coupe verticale. Ce fourneau diffère du précédent en ce que les quatre grilles verticales A,A, A,A,A,A,A, sont fixées l'une à l'autre pour former une sorte de panier à claire-voie qu'on introduit dans le fourneau par l'une des portes. La grille horizontale G se compose de barreaux mobiles comme dans le premier.

PLANCHE VIII.

Fourneaux à soufflet ou forges.

Fig. 1 et 2 (p. 135). Forge de l'École des Mines. *Fig.* 1re, plan. *Fig.* 2, coupe verticale du fourneau, élévation du soufflet et détails. AA, cuve : elle est construite en brique et garnie d'un cadre en fer à son bord. B, grille : elle se compose de barreaux soudés et à trois pieds ; on l'introduit dans le four par l'ouverture supérieure. C, cendrier : on le bouche avec une porte en fer placée sur le devant quand on fait mouvoir le soufflet. DDD, orifice des trois tuyaux qui débouchent dans le cendrier et qui reçoivent le vent du soufflet par les tuyaux E,E,E : on fait varier l'écoulement du vent au moyen des robinets F,F,F. G, quatrième tuyau muni de son robinet, au moyen duquel on peut conduire le vent du soufflet dans un autre fourneau quelconque. SS, soufflet en cuir, à deux vents, analogue aux soufflets d'orgue : on le fait mouvoir au moyen de la chaîne H.

III, poids qu'on met sur le soufflet pour en comprimer l'air : on fait varier la force du vent en employant des poids plus ou moins gros. KK, contre-poids fixé au volant pour accélérer sa descente. LLL, réservoir dans lequel l'air lancé par le soufflet est reçu pour être ensuite distribué par les tuyaux F,F,F et G. M, bride en fer qui assujettit les tuyaux OO′, bain de sable placé dans le massif du fourneau pour recevoir les creusets aussitôt qu'on les sort de la cuve.

Fig. 3 et 4 (p. 137). Forge ronde à trois tuyères, employée à l'ancienne École des Mines. *Fig.* 3, plan. *Fig.* 4, élévation. Elle est en brique, cerclée en fer, et elle n'a pas de grilles. A, cuve. B,B,B,B,B,B, tuyères apportant le vent d'un soufflet.

Fig. 5 (p. 138). Forge à trois vents; coupe verticale. A, cuve faite avec un creuset, et percée de trois trous G,G, par lesquels l'air s'y introduit. C, réservoir d'air placé au-dessous et autour du creuset. D, tuyau par lequel l'air du soufflet arrive dans le réservoir. E, creuset placé au milieu de la cuve, sur un fromage.

Fig. 6 (p. 139). Forge d'Aikin; coupe verticale. Elle diffère peu de la précédente. A, cuve faite avec un grand creuset. B,B, trous percés dans le fond du creuset pour y laisser pénétrer le vent. C, réservoir d'air fait avec un fragment de creuset. D, tuyau qui apporte l'air du soufflet. E, creuset placé au milieu de la cuve sur un fromage. F, creuset renversé muni d'un manche, et qui sert de couvercle.

Fig. 7 (p. 140). Forge à vent; coupe verticale. Elle consiste en un seul creuset dans lequel on place une grille B, et auquel on fait un trou latéral vers son fond, pour y adapter la buse D d'un soufflet. La partie inférieure à la grille C sert à la fois de réservoir d'air et de cendrier.

Fig. 8 (p. 140). Forge suédoise; coupe verticale. Elle ne diffère de la forge *fig.* 5 qu'en ce qu'elle est faite en tôle. A, cuve en tôle garnie d'argile intérieurement. B,B, trous par lesquels l'air s'introduit dans la cuve. CCC, espace contenu dans une enveloppe en tôle, et qui sert de réservoir d'air. D, tuyau qui amène le vent du soufflet dans le réservoir. E, creuset placé au milieu de la cuve, sur un fromage.

Fig. 9 (p. 153). Ringard courbe pour remuer le charbon dans la cuve des fourneaux.

Fig. 10 (p. 153). Ringard droit pour le même usage.

Fig. 11 (p. 153). Masque en bois, percé d'une ouverture vitrée et garni d'une poignée. On s'en sert pour se garantir le visage de la grande chaleur lorsqu'on veut regarder de près dans les fourneaux.

PLANCHE IX.

Fourneaux de coupelle.

Fig. 1, 2 et 3 (p. 154). Fourneaux en tôle forte. *Fig.* 1re, projection oblique. *Fig.* 2, coupe verticale perpendiculaire à l'axe de la moufle. *Fig.* 3, coupe verticale passant par l'axe de la moufle. AAA, cuve. BBB, cendrier. CCC, moufle.

Fig. 4, 5 et 6 (p. 155). Fourneau en terre cuite, carré, cerclé en fer, dont on se sert dans les usines. *Fig.* 4, coupe horizontale à la hauteur de la grille. *Fig.* 5, élévation. *Fig.* 6, coupe verticale passant par l'axe de la voûte. AAA, cendrier : il est muni d'une grille en fer. BB, laboratoire ou cuve. CC, dôme qui s'adapte sur le laboratoire au moyen des deux échancrures *e*, *e* : il est percé sur le devant d'une ouverture demi circulaire D, par laquelle on introduit le combustible, et qu'on peut fermer à volonté au moyen d'une porte ou bouchon en terre. F, cheminée en tôle, à laquelle on donne plus ou moins de hauteur, selon la force de tirage qu'on veut obtenir; elle porte une tablette G sur laquelle on peut poser des coupelles, et une coulisse H qui ferme une ouverture par laquelle on peut introduire le combustible. I, moufle dans laquelle on place les coupelles : on y pratique une fente étroite sur chaque face, pour qu'il puisse s'y établir un courant d'air. Elle s'appuie d'une part sur le devant du fourneau, et du côté opposé sur la languette L. On peut fermer son ouverture en tout ou en partie au moyen d'une porte P.

Fig. 7, 8 et 9 (p. 158). Fourneau de coupelle en terre cuite, semblable au précédent, mais de très petites dimensions. Il ne donne qu'une faible chaleur, et l'on ne s'en sert que dans les laboratoires où l'on ne fait des essais que rarement.

Fig. 10 (p. 160). Fourneau à coupelle d'Aikin. C, creuset percé à travers lequel s'établit un courant d'air, et au milieu duquel on place la coupelle.

Fig. 11 (p. 161). Ringard droit fait avec un gros fil de fer.

Fig. 12 (p. 161]. Ringard à crochet. On se sert de ces ringards pour faire descendre le charbon dans le fourneau, etc.

Fig. 13 (p. 161). Pince à moustache au moyen de laquelle on peut saisir les scorificatoires, les coupelles, etc.

Fig. 14 (p. 161). Pince élastique mince qui sert à saisir les objets qu'on veut placer dans les coupelles.

Fig. 15 (p. 162). *Id.* dont une des branches est demi circulaire. Cette pince est fort commode pour enlever et mouvoir les coupelles et les scorificatoires pleins de matières fondues.

Fig. 16. (p. 162). Petite cuillère en fer à l'aide de laquelle on introduit du plomb granulé dans les coupelles et scorificatoires.

Fig. 17 (p. 162). Main en tôle, qui sert à puiser la litharge, le plomb granulé, etc.

Fig. 18 (p. 162). Coupelles de différentes dimensions; coupes verticales.

Fig. 19 (p. 163). Moule à coupelles en bronze. N, *nonne* ou moule dans lequel on tasse la poudre d'os. Le fond de ce moule est occupé par un cône en plomb O, sur lequel on frappe pour faire sortir la coupelle quand elle est façonnée. M, *moine* ou moule qui sert à façonner l'intérieur de la coupelle. C, coupelle façonnée.

PLANCHE X.

Chalumeaux.

Fig. 1re (p. 166). Ancien chalumeau.

Fig. 2 (p. 166). Chalumeau de Bergmann. CC, chambre demi cylindrique dans laquelle l'humidité se dépose. BB, bec.

Fig. 3 (p. 166). Chalumeau de Gahn. C, chambre cylindrique munie de son bec.

Fig. 4 (p. 166). Chalumeau de Woigt. C, chambre circulaire composée de deux pièces mobiles l'une sur l'autre, comme les deux parties d'une boîte.

Fig. 5 (p. 167). Chalumeau de Tennant. B, bec : on le retourne rectangulairement quand on veut se servir du chalumeau.

Fig. 6 (p. 167). Chalumeau de Wollaston prêt à fonctionner. On voit à côté les trois pièces dont il se compose.

Fig. 7 (p. 168). Chalumeau de M. Couerbe, ou *forge du pyrognoste*. A, colonne-support courbée à angle droit à son

sommet. F, cylindre de jonction passant dans un trou pratiqué perpendiculairement dans l'extrémité arrondie du coude de la colonne-support. B, réservoir sphérique d'air muni de trois tubulures t, t', t'', l'une latérale t destinée à recevoir à frottement le bec du chalumeau; la seconde, supérieure, t', dans laquelle se visse le cylindre de jonction muni d'une rondelle de cuir; la troisième enfin, t'', qui est destinée à faciliter le nettoyage du réservoir: on ferme cette dernière ouverture à l'aide d'un bouchon attaché à une chaîne légère. C, réservoir cylindrique destiné à dessécher l'air qu'on insuffle dans l'appareil. Il se compose d'un réservoir, d'un couvercle et d'une base tubulée terminée par une boule et qui s'élève jusqu'à une certaine hauteur dans le réservoir. D, tube-bocal qui entre à frottement dans la tubulure supérieure. E, réservoir d'huile muni d'un porte-mèche assez large pour recevoir deux mèches à la fois. Cette lampe porte à sa base et dans toute sa longueur une douille carrée. T, tige carrée entrant à frottement dans la douille de la lampe, et terminée elle-même par une douille à ressort dans laquelle passe la colonne-support, qui forme avec elle un angle droit.

Fig. 8 (p. 170). Lampe d'émailleur. S, soufflet en cuir à deux vents. M, marche au moyen de laquelle on fait mouvoir le soufflet avec le pied. T, tuyau par lequel l'air est porté sur la lampe. L, lampe en fer-blanc munie de sa mèche, et posée sur la table, sur laquelle on peut la faire avancer ou reculer à volonté.

Fig. 9 (p. 170). Vessie à douille en cuivre, à laquelle on peut adapter à vis un tube effilé ou bec.

Fig. 10 (p. 171). Chalumeau de M. Danger, destiné à remplacer la lampe d'émailleur. C, chalumeau fixé à une table au moyen d'une vis de pression V. A, vessie qui sert de réservoir d'air; pour forcer celui-ci à s'écouler, on la charge d'un poids P ou on la comprime entre les genoux. B, tube par lequel on insuffle de l'air dans la vessie avec la bouche: il porte en D une soupape qui s'ouvre pour laisser entrer l'air dans la vessie; mais qui se ferme quand on ne souffle pas, pour ne lui permettre de sortir que par le bec. E, bec mobile autour de son axe, et qu'on peut changer à volonté. L, chandelle enfermée dans un tube

en fer-blanc à ressort ; ou peut lui substituer une lampe d'émailleur.

Fig. 11 (p. 173). Lampe de M. Berzelius. L, lampe ou réservoir d'huile. M, mèche adaptée dans l'ouverture de la lampe. D, douille à travers laquelle passe la tige qui sert de support. *t*, bouchon de liége dans lequel la tige entre à frottement, et qui supporte la lampe. TT, tige cylindrique en laiton, composée de deux pièces qui se vissent l'une à l'autre. P, pied qui se compose de deux pièces s'assemblant en croix.

Fig. 12 et 13 (p. 174). Lampe de l'émailleur.

Fig. 14 (p. 174). Lampe de M. Danger. *a*, réservoir pour l'huile. *b*, emplacement de la mèche. *c*, chapiteau que l'on rabat sur la mèche quand elle est en feu. *f*, fil de laiton mobile sur ses deux extrémités, et qui sert à soutenir la mèche. *g*, godet dans lequel s'écoule le trop-plein de l'huile.

Fig. 15 et 16 (p. 181). Chalumeau de Neumann. AA, réservoir en tôle forte dans lequel on comprime le mélange détonant. BB, Pompe foulante adaptée à vis au réservoir, et au moyen de laquelle on le remplit. CC, ajutage à robinet par lequel on fait sortir le mélange détonant.

Fig. 17 et 18 (p. 181). Appareil de sûreté pour éviter les explosions dans le chalumeau précédent.

Fig. 19 (p. 184). Emporte-pièce en fer-blanc affilé, pour creuser les charbons.

Fig. 20 (p. 184). Fil de platine replié en crochet à l'une de ses extrémités, pour servir de support.

Fig. 21 (p. 185). Cuillère en platine fixée dans un manche de bois.

Fig. 22 (p. 186). Petite coupelle, plan et coupe.

Fig. 23 (p. 186). Lame d'ivoire. *Fig.* 24 (p. 186). Pilon d'ivoire servant à confectionner les coupelles *fig.* 22.

Fig. 25 (p. 186). Tube de verre ouvert par les deux bouts.

Fig. 26 (p. 186). Tube de verre bouché par un bout.

Fig. 27 (p. 186). Tube de verre bouché et renflé par un bout, ou matras.

PLANCHE XI.

Chalumeaux (instrumens accessoires). *Tubes de verre.*

Fig. 1re (p. 187). Cisailles à ressort et à tranchans.

Fig. 2 (p. 187). Marteau à tête ronde et à panne conique.

Fig. 3 (p. 187). Marteau à tête carrée et à panne en forme de ciseau.

Fig. 4 (p. 188). Loupe ordinaire à deux verres.

Fig. 5 (p. 188). Loupe à la Wollaston à quatre verres.

Fig. 6 (p. 189). Lampe à esprit de vin en cristal. Quand on ne s'en sert pas, on la ferme avec un bouchon en forme de couvercle d'étui, pour empêcher l'évaporation.

Fig. 7 (p. 189). Triangle ou chevrette en fer. Il peut se plier en deux sur une charnière *c*.

Fig. 8 (p. 189). Mâchoire à vis de pression, au moyen de laquelle on fixe la chevrette à telle hauteur que l'on veut au-dessus des lampes. On fait passer la tige de celles-ci à travers l'anneau *a* de la mâchoire.

Fig. 9. Autre mâchoire destinée à tenir à la main, au-dessus du feu, les chevrettes, capsules, etc. : on l'ouvre et on la ferme au moyen du bouton à coulisse *cc*, et l'on serre les deux mâchoires au moyen de la vis *v*.

Fig. 10 (p. 190). Aiguille aimantée supportée par un pivot en cuivre.

Fig. 11 (p. 190). Aiguille aimantée *a* tenue dans une position perpendiculaire au méridien magnétique, par l'action d'un barreau aimanté *b*.

Fig. 12 (p. 191). Table à rebords et à tiroirs, pour les essais au chalumeau.

Fig. 13 (p. 208). Tube de verre *a* bouché par un bout et ouvert par l'autre, qu'on tient au-dessus d'une lampe *b*, au moyen d'un fil métallique *c*.

Fig. 14 (p. 208). Tube de verre doublement courbé, bouché par un bout *a* et ouvert par l'autre *c*.

Fig. 15 (p. 209). Appareil évaporatoire. *a*, tube qui contient le liquide. *b*, tube plus petit, introduit dans le premier pour y établir un courant d'air.

Fig. 16 (p. 209). Tube ouvert par les deux bouts, propre aux évaporations.

Fig. 17 (p. 209). Appareils distillatoires. *a*, tube-cornue. *b*, tube-récipient.

Fig. 18 (p. 209). Autre appareil distillatoire. *a*, tube-cornue effilé. *b*, flacon-récipient.

Fig. 19 (p. 209). Autre appareil distillatoire. *a*, tube-cornue. *b*, tube-récipient ouvert par les deux bouts.

Fig. 20 (p. 209). Tube-récipient rétréci par un bout.

Fig. 21 (p. 210). Appareil pour les rectifications.

Fig. 22 (p. 210). Autre appareil pour les rectifications multipliées.

Fig. 23 (p. 211). Appareil pour les sublimations. *a*, tube-cornue. *b*, tube-récipient recourbé et ouvert.

Fig. 24 (p. 212). Appareil de gazéification. *a*, tube-cornue. *b*, tube faisant fonction de cloche, placé dans une capsule *c* remplie de liquide.

Fig. 25 (p. 212). Cloche à gaz de M. Cooper.

Fig. 26 (p. 212). Tube à gaz de M. Kerr.

Fig. 27 (p. 213). Autre tube à gaz de M. Kerr.

Fig. 28 (p. 214). Tube courbé, dit *cloche courbe*.

Fig. 29 (p. 214). Tube courbé et ouvert à ses deux bouts, pouvant servir d'appareil de Wolf.

Fig. 30 (p. 214). Autre appareil à deux courbures.

PLANCHE XII.

Combustibles. Essais d'argent.

Fig. 1re (p. 220). Appareil pour faire l'analyse immédiate des combustibles. *a*, tube-cornue, au fond duquel on place le combustible, et qu'on chauffe au moyen d'une lampe *b*. *c*, tube de communication qui conduit les gaz dans la cloche *d* placée dans une capsule pleine de liquide.

Fig. 2 (p. 221). Autre appareil analogue. *a*, cornue dans laquelle on met le combustible, et qu'on chauffe sur un fourneau *b*. *c*, tube de communication qui conduit les gaz dans une cloche graduée et à robinet *d*. Cette cloche est placée dans une éprouvette pleine de mercure *c*.

Fig. 3 (p. 226). Calorimètre de Rumfort. A, caisse en cuivre que l'on remplit d'eau. B, serpentin qui circule dans le fond de la caisse. C, thermomètre qui plonge dans le fond de la caisse. D, ouverture par laquelle on emplit la caisse. E, ouverture inférieure du serpentin, et par la-

quelle s'introduisent tous les gaz qui résultent de la combustion.

Fig. 4 (p. 232). Appareil pour mesurer le rayonnement de corps en combustion. ABCD, *abcd*, caisse annulaire de ferblanc qu'on remplit d'eau. *m*, *n*, tubulures qui permettent d'introduire deux thermomètres dans l'espace annulaire. *x*, *y*, *z*, pieds de l'instrument. M, grille en fil de fer suspendue au milieu de la caisse, et dans laquelle on brûle le combustible.

Fig. 5 (p. 661, T. II). Réservoir florentin en forme de tube, destiné à transvaser le mercure, etc. A, grand tube dans lequel on verse le mercure. B, petit tube par lequel on le laisse écouler après qu'on l'a laissé reposer quelque temps.

Fig. 6 (p. 861, T. II). Burette en verre graduée, destinée à mesurer des poids déterminés de dissolution de sel marin, pour faire l'essai des alliages d'argent; elle est divisée en grammes. En faisant écouler la dissolution par le bec *o*, chaque division fournit 8 à 10 gouttes, et par conséquent le poids d'une goutte est d'environ 1 décigramme. On remplit la burette de dissolution jusqu'à la division o, et l'on en fait la tare; on enlève la burette, on met à sa place le poids qu'on veut prendre de dissolution, et l'on fait écouler celle-ci dans le flacon qui doit la recevoir, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

Fig. 7 (p. 861). Flacon de verre bouché à l'émeri, de la capacité de 200^{g}, dans lequel on fait dissoudre l'alliage d'argent.

Fig. 8 (p. 862). Appareil pour faire les essais d'argent en mesurant la dissolution de sel marin au volume. Q, pipette de verre jaugeant 100$^{centim.}$ cubes, depuis la pointe *c* jusqu'au trait *ab*. R, robinet qui, étant ouvert, laisse la dissolution tomber du réservoir A dans la pipette. R', autre robinet par lequel on laisse sortir l'air de la pipette quand on l'emplit de dissolution. V, vis qui règle une petite ouverture destinée à laisser rentrer l'air très lentement dans la pipette, pour qu'elle puisse se vider. La pipette est portée sur deux bras horizontaux H, K, mobiles autour d'un axe commun SS, et pouvant s'allonger ou se raccourcir par le moyen de deux fentes longitudinales. L'appareil est fixé à un mur par son appendice X. M, *mouchoir* ou éponge humide enveloppée d'un linge, destinée à absorber le li-

quide qui s'écoule de la pipette lorsqu'on l'amène au niveau *ab*. Ce mouchoir est placé à frottement dans un étui de fer-blanc terminé par un godet, et ouvert dans le bas pour laisser écouler dans la cuvette C, sur laquelle le tube est soudé, le liquide que le mouchoir ne peut absorber. F, cylindre en fer-blanc dans lequel on loge le flacon (*fig.* 7) qui contient la dissolution d'argent, et qui doit recevoir la dissolution de sel marin contenue dans la pipette. Pour faire descendre celle-ci on laisse la vis V ouverte, et à l'instant où le liquide affleure en *ab*, on retire le mouchoir, et le flacon se trouve immédiatement sous la pipette, qui continue à se vider. Comme il reste toujours dans les flacons une certaine quantité de vapeur nitreuse qui est incommode pour l'opérateur, on a imaginé de mettre ceux-ci sous un entonnoir N, portant une tubulure latérale au moyen de laquelle il est mis en communication avec un tuyau TT de 3 à $4^{cent.}$ de diamètre, aboutissant à une boîte D dans laquelle est une lampe ou une chaufferette garnie de charbons ardens. L'air nécessaire à la combustion ne pouvant arriver dans la boîte qu'en traversant l'entonnoir, entraîne la vapeur nitreuse, que déplace la dissolution au moment où elle entre dans le flacon : cette vapeur s'échappe avec l'air par le tuyau P. A, réservoir en cuivre, de la capacité d'environ $100^{lit.}$, qu'on emplit de dissolution normale de sel marin, pour alimenter la pipette. Cette dissolution s'écoule par le tuyau ZZ, au milieu duquel se trouve un thermomètre qui indique la température. Le fond supérieur du réservoir est un peu concave, présente une ouverture fermée par un bouchon à vis B, dont le bord presse sur un cuir. Ce bouchon est traversé par un tube *t* qui est rivé près du fond du vase, et par lequel l'air entre dans l'appareil sans pouvoir en sortir, en sorte qu'il ne peut se faire aucune évaporation. *m*, bouchon avec lequel on ferme le tube *t* quand l'appareil ne fonctionne pas.

Fig. 9 (p. 865). Bain-marie en fer-blanc dans lequel on peut mettre chauffer dix flacons à la fois; vue oblique et coupe.

Fig. 10 (p. 865). Agitateur à dix compartimens, destiné à éclaircir les dissolutions d'argent. R, ressort auquel on le

suspend. B, ressort à boudin fixé au sol, qui facilite l'opération.

PLANCHE XIII.

Essais d'or.

Fig. 1, 2, 3 et 4 (p. 916). Disposition du laboratoire de la Monnaie de Paris. — *Fig.* 1, plan. — *Fig.* 2, élévation longitudinale. — *Fig.* 3, coupe verticale passant par le milieu du fourneau. — *Fig.* 4, coupe verticale passant par la case aux théières. A, support mobile en bois posé sur la fenêtre. B, tablette fixée au mur. C, grande hotte de l'appareil aux essais d'or; la cheminée G communique à volonté avec celle du fourneau de coupelle H, au moyen de la trappe *l*. D,D, armoires pour serrer les acides, les coupelles, etc. E, porte du fourneau d'appel. F, cendrier de ce fourneau. G, cheminée servant à la fois pour le fourneau d'appel et pour le fourneau de coupelle. H, fourneau de coupelle. *aa*, ouvertures dans lesquelles on engage les cols des matras, desquels il se dégage des vapeurs dont on veut se débarrasser; ces ouvertures communiquent avec la cheminée G. *bb*, râtelier destiné à servir d'appui aux cols des matras. *cc*, crans établis sur une plate-bande en fer pour recevoir les cols des matras placés sur le feu. *dd*, plaques de tôle à charnière servant, quand elles sont ouvertes, à conduire les vapeurs qui se dégagent des vases placés sur le bain de sable *ee*, dans la cheminée du fourneau d'appel, par l'ouverture *aa*, et à fermer cette ouverture quand elle devient inutile. *ee*, tablette garnie de sable, où l'on pose les matras pour les laisser refroidir. *f,f*, plaques de tôle mobiles, qu'on agrafe devant l'ouverture *aa* quand on cesse le travail. *gg*, serre-feu en fer, destiné à recevoir les cendres chaudes et la braise allumée dont on se sert pour faire chauffer les matras. *h*, ardoise pour noter le temps de l'ébullition, etc. *ii*, petites fontaines dans lesquelles on met l'eau et l'acide nitrique pour les essais; le robinet de la première est en argent; celui de la seconde est en platine. *j*, théière dans laquelle on décante le nitrate d'argent qui provient des essais. *k*, petite hotte destinée à éviter toute introduction de vapeurs

dans le laboratoire lorsqu'on met de l'eau ou de l'acide nitrique dans les matras encore chauds. *l*, trappe au moyen de laquelle on peut intercepter la communication entre la cheminée du fourneau d'appel et celle du fourneau de coupelle. *m*, plaque de tôle bouchant l'espace de la baie que le fourneau laisse libre. K, petite baie permettant d'entretenir le fourneau H par-derrière, et de dedans la pièce qui est de l'autre côté du mur. L, L, paillasse qui supporte le fourneau H. MM, paillasse de l'appareil aux essais. *c*,*c*,*c*, crans destinés à recevoir les cols des matras. *ggggg*, serre-feu. *o*, petit conduit latéral destiné à conduire dans la cheminée G les vapeurs qui sortent des cols des matras lorsqu'on décante le nitrate d'argent encore chaud. V,V, armoires. X, foyer du fourneau d'appel. Y, cendrier de ce fourneau. Z, sa grille.

Fig. 5 (p. 916). Disposition des matras adoptée par M. Gay-Lussac. M, matras dans lequel on opère la dissolution : après qu'on y a mis le cornet on y introduit une quantité constante d'acide nitrique au moyen d'une pipette ; puis, lorsqu'on met le second acide, on ajoute un très petit fragment de charbon pour empêcher les soubresauts et les fusées. N, plaque de tôle percée de trous, sur laquelle on pose les matras. S, caisse en tôle revêtue de terre intérieurement, dont le fond est percé et sert de grille : c'est dans cette caisse qu'on entretient le feu sur lequel on chauffe les matras. T, tube de verre d'environ $2^{centim.}$ de diamètre et de $1^{m.}$ de hauteur, portant à chacune de ses extrémités un tube plus étroit *t*. Le tube inférieur s'engage librement dans le col du matras, et comme l'espace entre les deux tubes est assez étroit pour qu'une lame d'acide y reste suspendue et l'obstrue, les vapeurs sont obligées de se rendre dans le gros tube, où elles se condensent et retombent dans le matras, tandis que les gaz sont conduits dans la cheminée. Il est nécessaire pour que le passage reste toujours libre aux vapeurs, que l'extrémité inférieure du tube soit coupée de biais. H, ouverture par laquelle l'air peut entrer dans la cheminée, qu'on suppose derrière. La face inférieure de cette ouverture est recouverte d'une feuille de verre inclinée du côté de la cheminée, sur laquelle tombent les

gouttes d'acide nitrique, lorsque les tubes sont retirés et supportés par la table N. Ces gouttes s'évaporent, et sont entraînées dans la cheminée par le courant d'air. Endessous de la plaque de verre en est une autre en tôle *e*, portant des échancrures pour y appuyer le col des matras et les empêcher de tomber.

FIN DE L'EXPLICATION DES PLANCHES.

Pl. I.

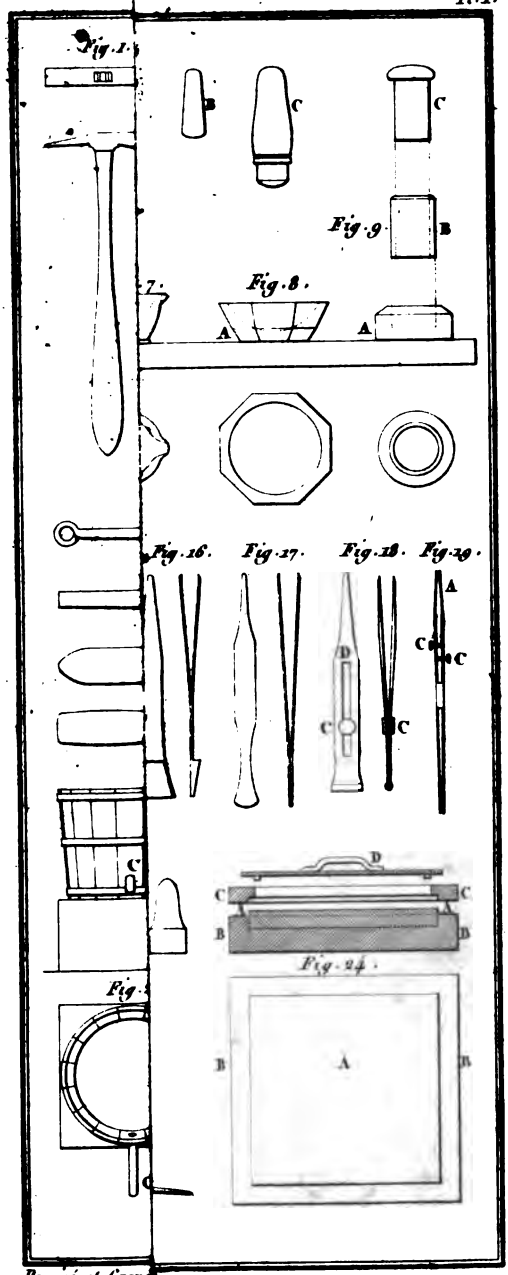
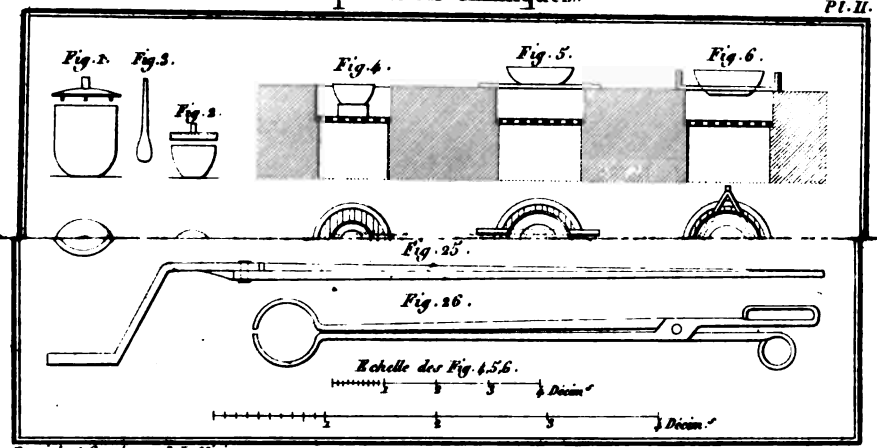


Fig. 1.
B
C
C
Fig. 9.
B
Fig. 8.
A
A
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.
A
C
C
D
C
C
C
D
C
C
B
B
Fig. 24.
Fig.
B
A
B
Dessiné et Gravé

Opérations chimiques.

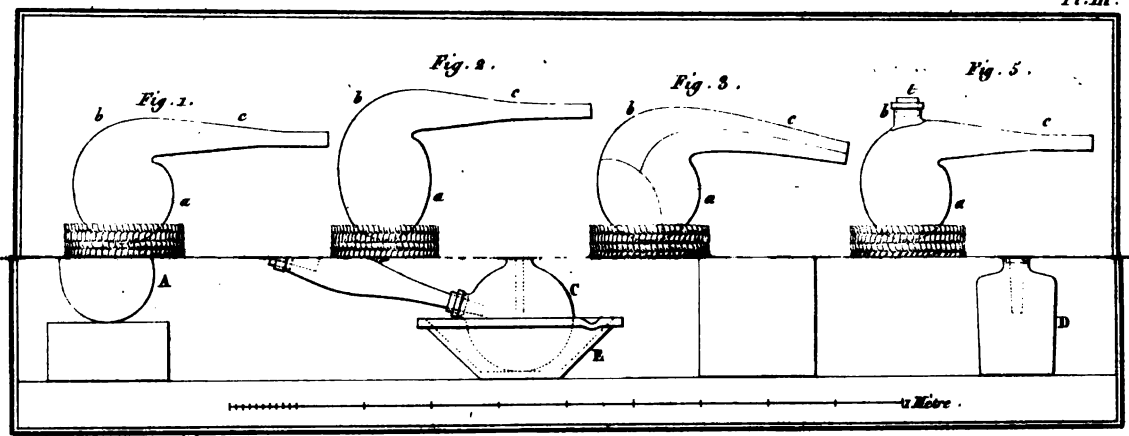
Pl. II.



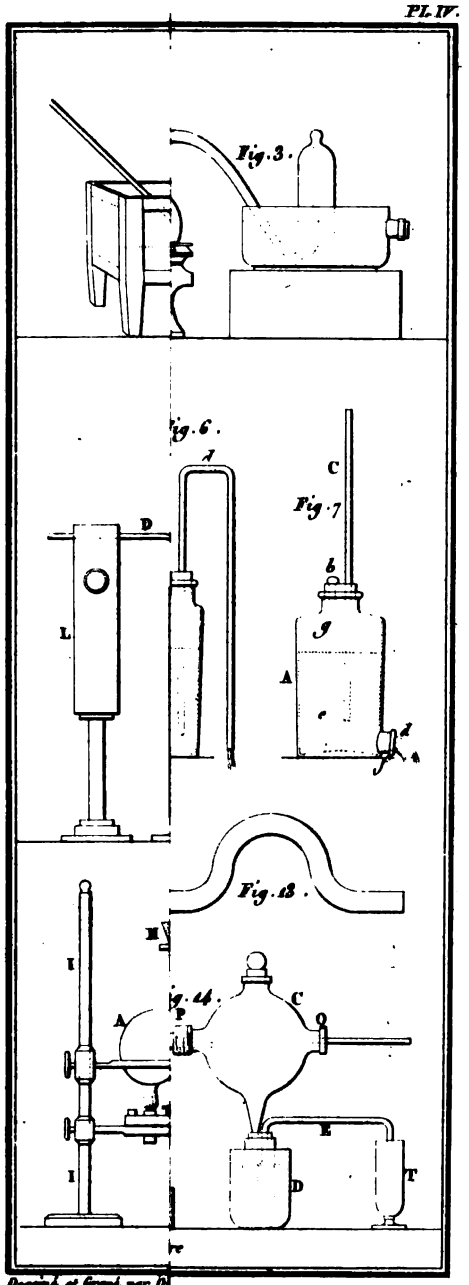
Dessiné et Gravé par J. J. Olivier.

Distillation.

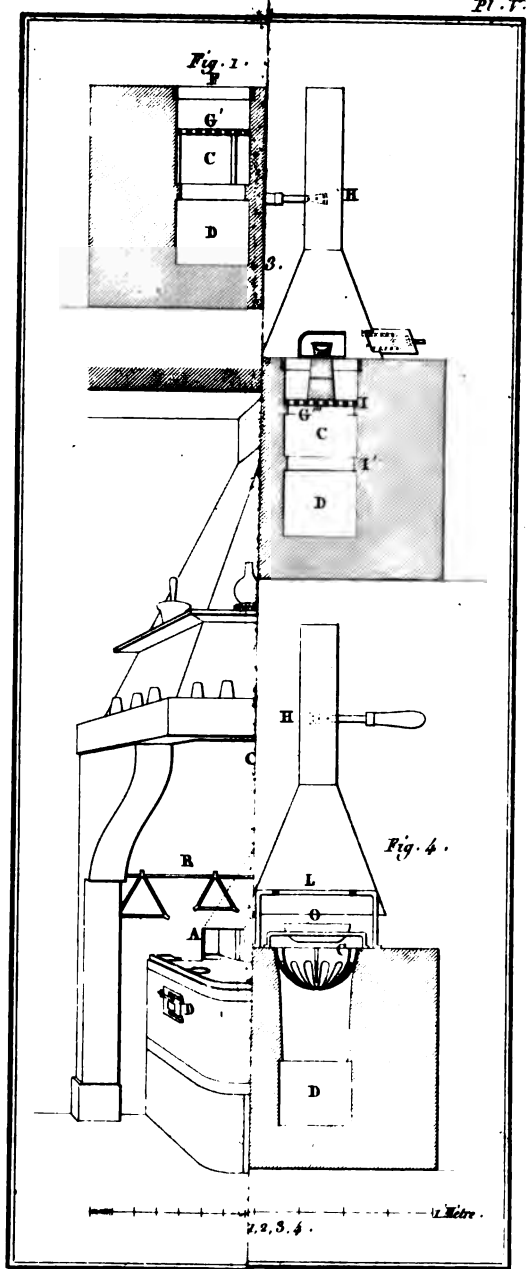
Pl. III.



Dessiné et Gravé par Olivier.



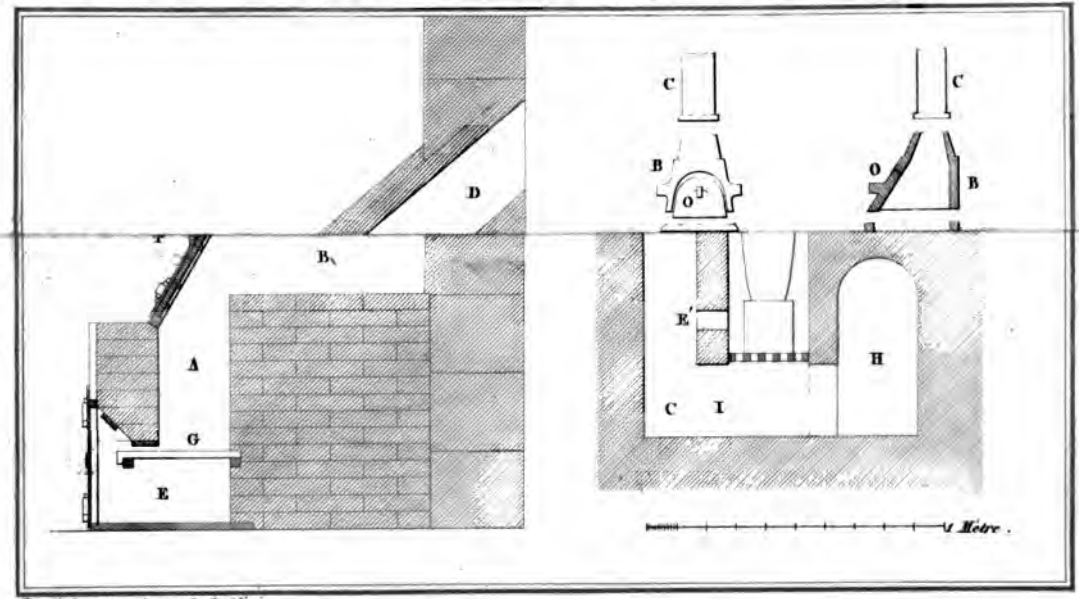
Dessiné et Gravé par D



Dessiné et Gravé par J.J. Olivier.

Fourneaux à vent.

PL. VI.



Dessiné et Gravé par J. J. Olivier.

Fig. 4.

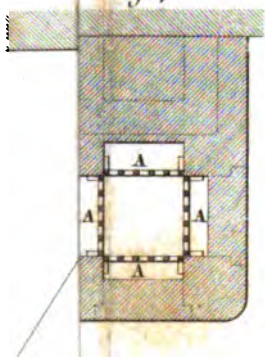


Fig. 5.

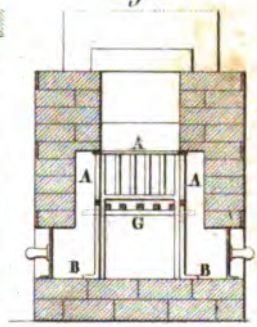
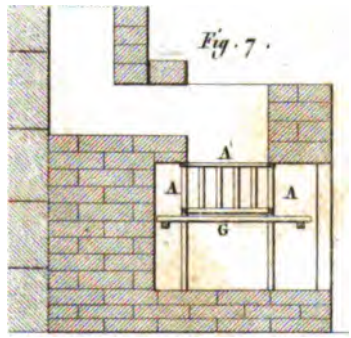


Fig. 7.



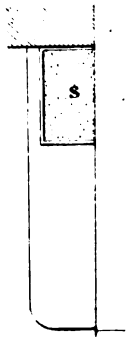
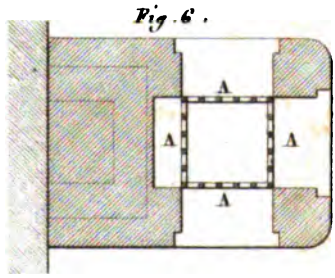
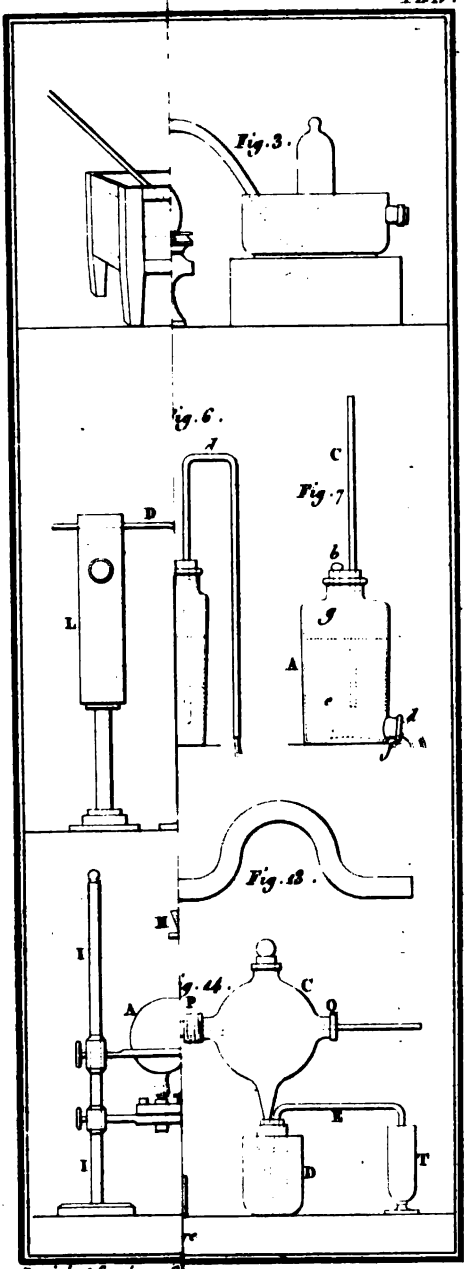


Fig. 6.



Dessiné et Gravé

PL IV.



Dessiné et Gravé par D

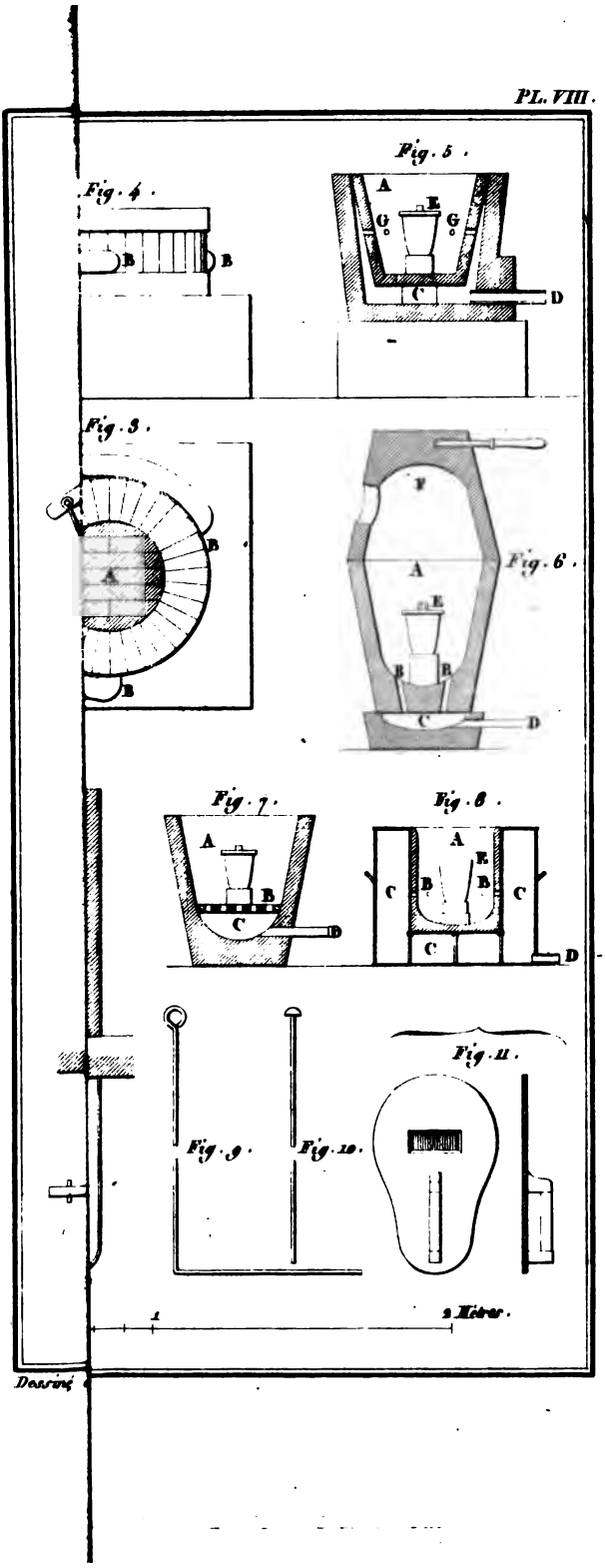
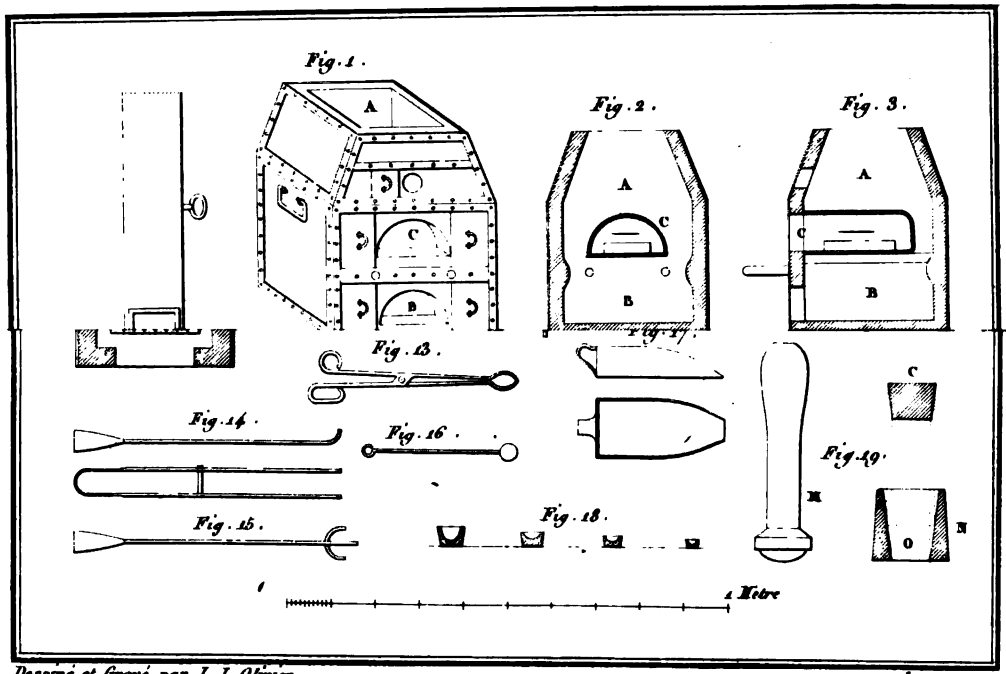
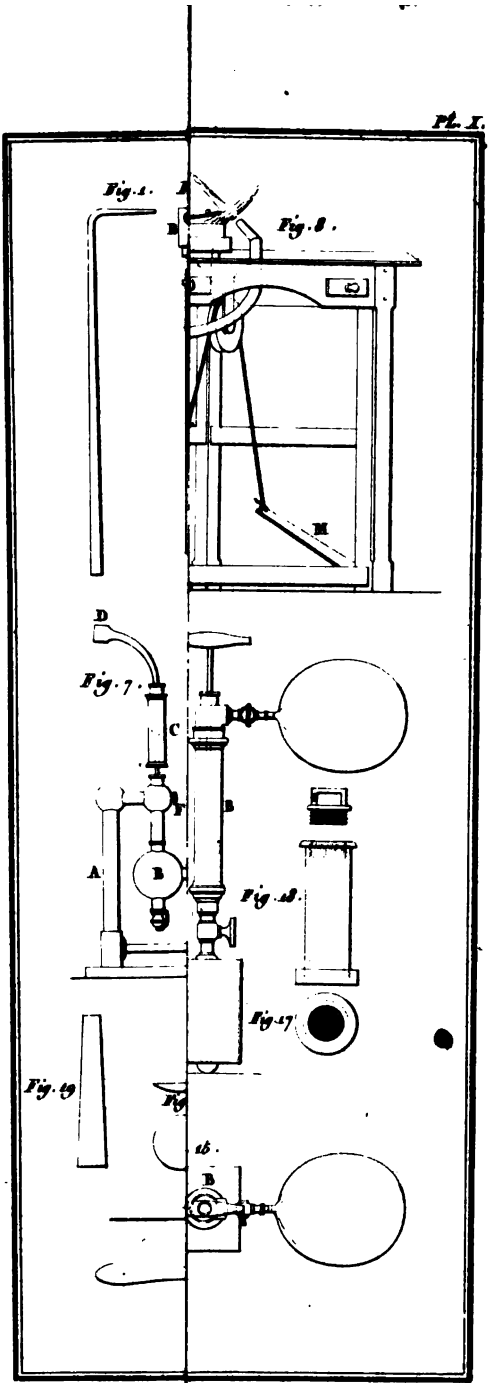


Fig. 4.
B
B
Fig. 5.
A
E
G
G
C
D
Fig. 3.
A
B
B
B
F
A
Fig. 6.
E
B
B
C
D
Fig. 7.
A
B
C
D
Fig. 8.
A
E
B
B
C
C
C
D
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
1
2 Meter.
Dessiné

Fourneaux de coupelle.



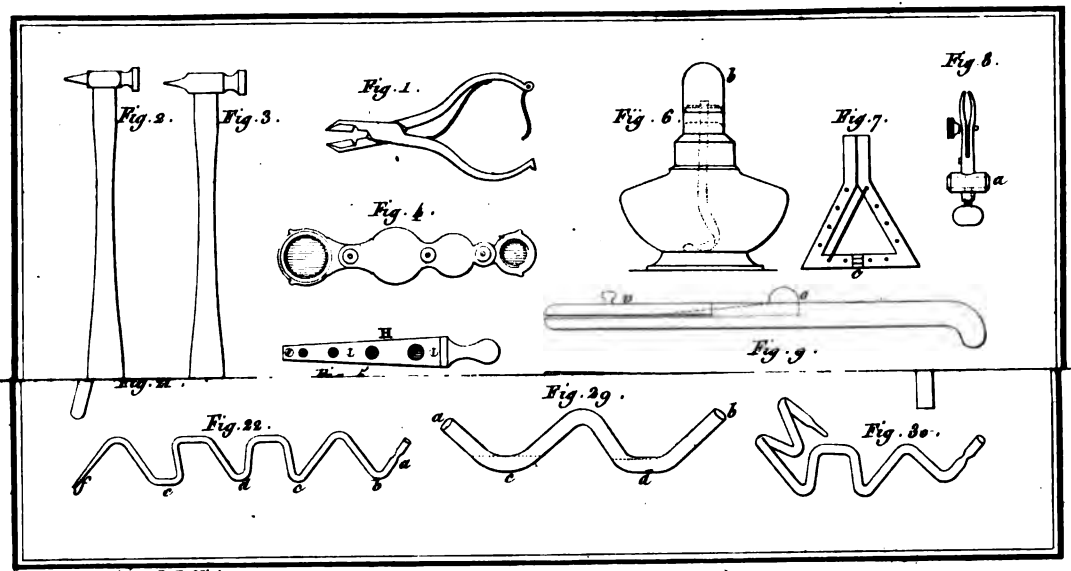
Dessiné et Gravé par J. J. Olivier.



Dessiné et Gravé par J

Chalumeaux et Tubes.

Pl. XI.



Dessiné et Gravé par J. J. Olivier.

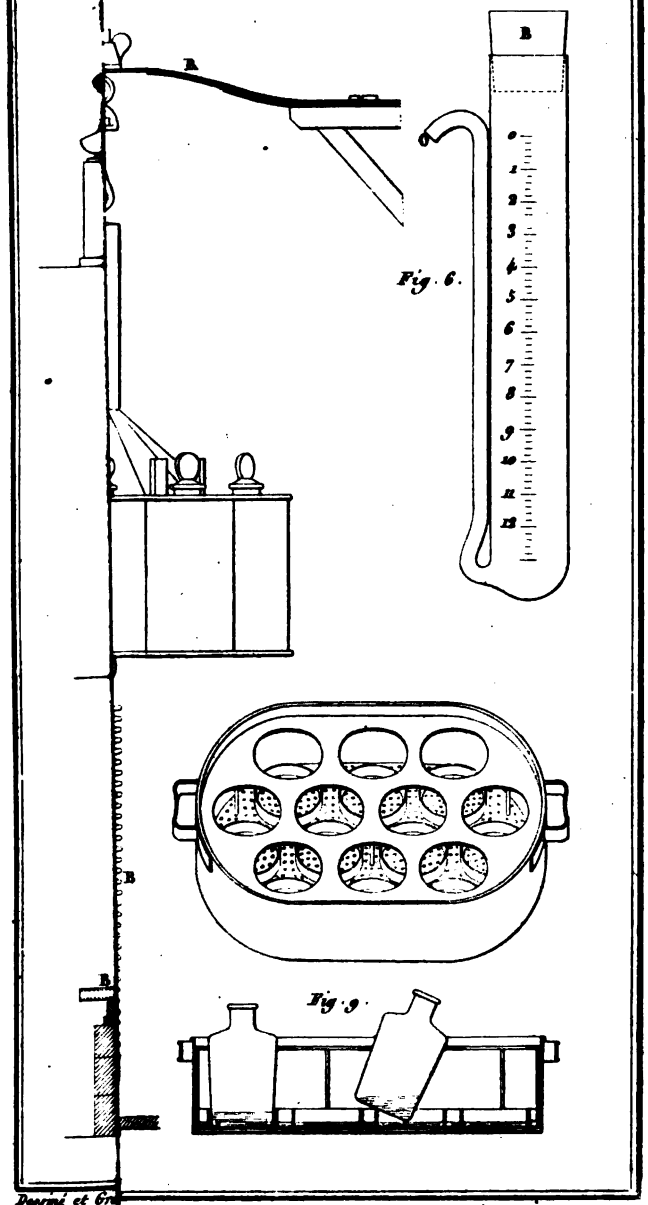
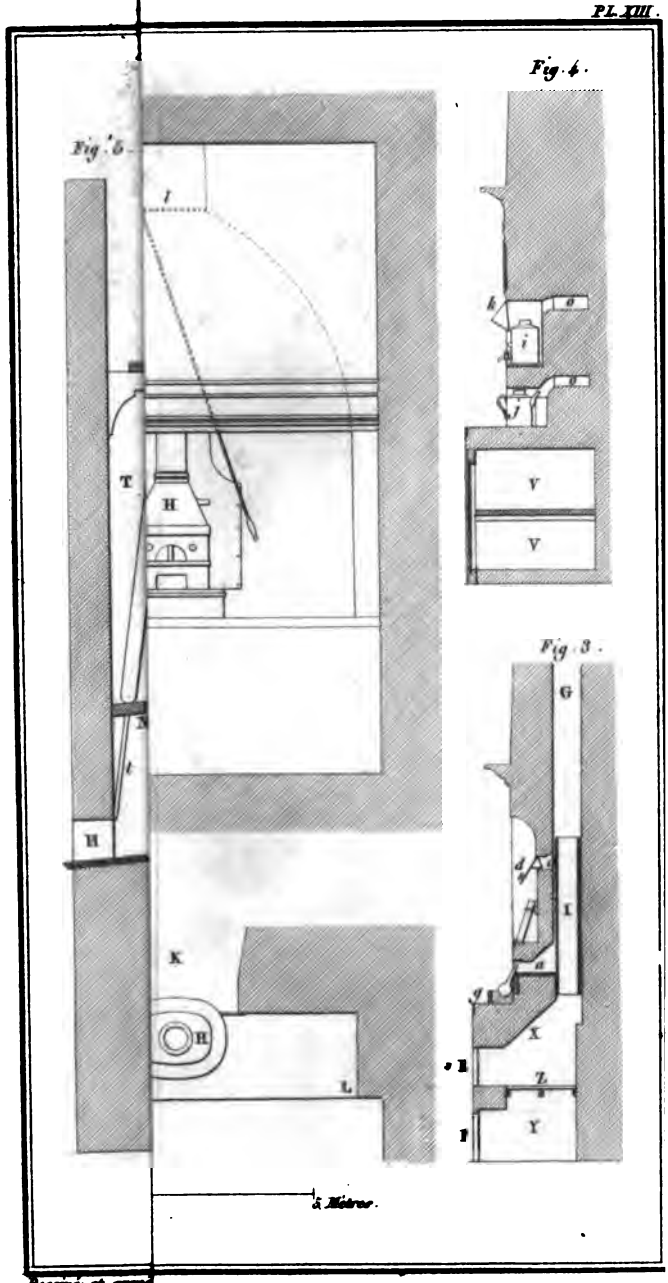
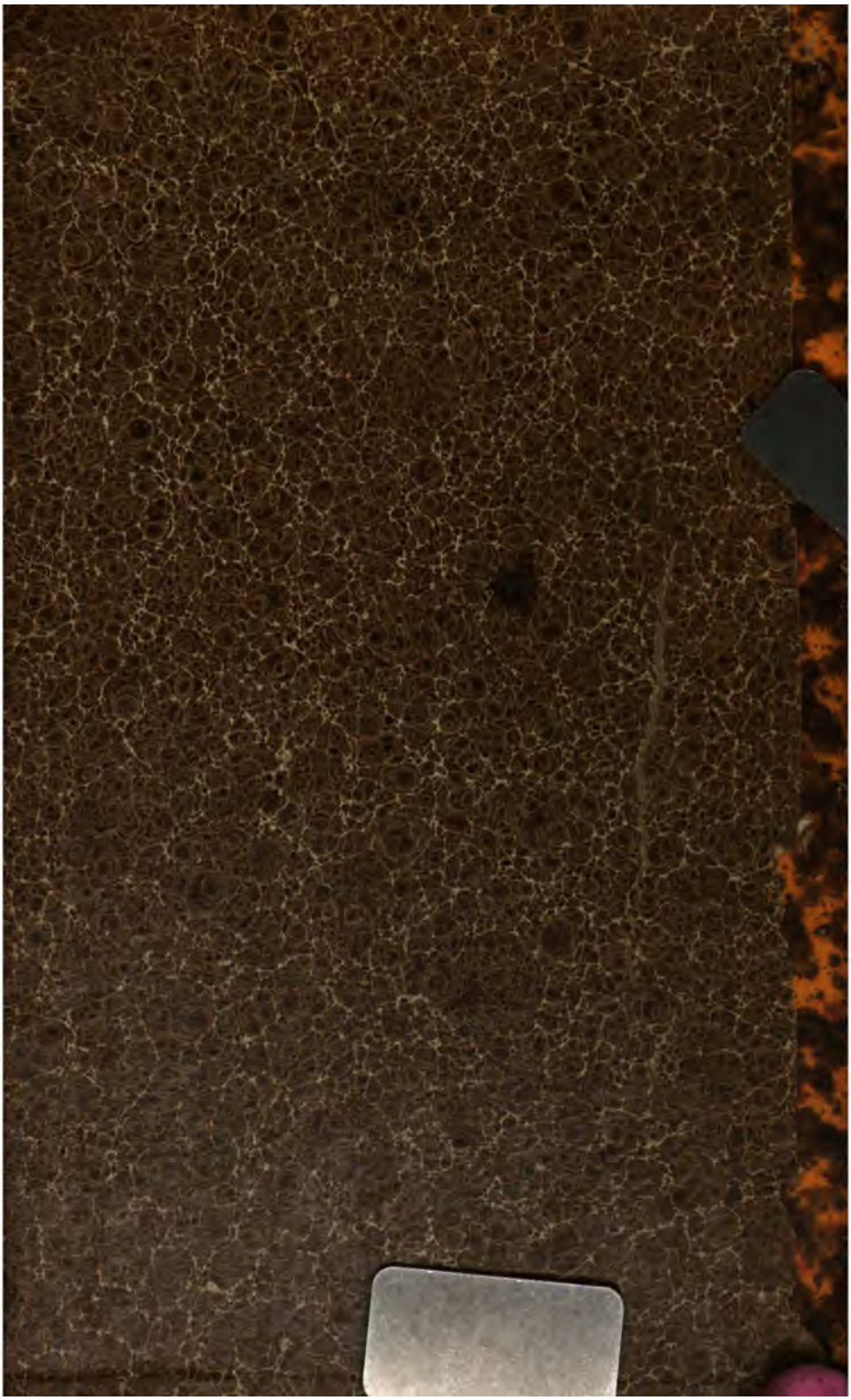


Fig. 6.

Fig. 9.

Dourné et Gr



Dessiné et grav